www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

10e JAARGANG No. 6, blz. 157-192 JUNI 1948

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN TELEVISIE-ONTVANGER MET GEPROJECTEERD BEELD

III. DE APPARATUUR VOOR HET OPWEKKEN VAN 25 kV ANODESPANNING

door G. J. SIEZEN en F. KERKHOF.

621.397.62 : 621.396.615.17 : 621.314.54

Voor het voeden van de kathodestraalbuis van een televisie-ontvanger met projectie is een vermogen van slechts enkele W nodig, bij een gelijkspanning van de orde van enige tientallen kV. De hier beschreven oplossing, volgens welke een cascadegelijkrichter wordt gevoed uit een impulsgenerator, heeft verscheidene voordelen boven de meer voor de hand liggende methode waarbij de wisselspanning van het net wordt opgetransformeerd en gelijkgericht. De impulsgenerator bestaat uit een spoel die is opgenomen in de plaatkring van een penthode, waarvan de anodestroom telkens plotseling wordt onderbroken door een zaagtandspanning op het stuurrooster (frequentie ca 1000 per/sec). De stroomonderbreking stoot de trillingskring aan die de zelfinductie van de spoel met haar eigencapaciteit vormt. Men kan de spanningspiek aan de spoel gemakkelijk een waarde van de orde van 10 kV geven. Met een gelijkrichter, bij voorkeur in cascadeschakeling, wordt hieruit de gewenste gelijkspanning verkregen (i.c. 25 kV).

De cascadeschakeling wordt nader geanalyseerd. Uit de gevonden formules blijkt o.a., dat, bij een niet geregelde impulsgenerator, een redelijke waarde van de inwendige weerstand slechts is te krijgen bij een laag rendement. Deze moeilijkheid is opgelost door aan de penthode een regelspanning toe te voeren die is afgeleid uit de piekspanning aan de trillingskring. Het resultaat is een lage inwendige weerstand in het gebied tussen nullast en volle belasting, bij een bevredigend rendement, en een sterke spanningsdaling bij te grote belasting. Het beschreven uitvoeringsvoorbeeld, dat werkt met drie trappen in cascade, levert 25 kV bij 150 μA en neemt daarbij ca 11 W op (uit een gelijkspanningsbron van 350 V). De inwendige weerstand bij kleine belasting is ca 5 MΩ. De afmetingen van het toestel zijn slechts 18 cm × 10 cm × 15 cm. In de trillingskring is met voordeel gebruik gemaakt van „Ferroxcube".

Inleiding

Zoals in vorige artikelen [1][2] (die wij hier verder als I en II zullen aanduiden) over televisie-ontvangst met geprojecteerd beeld werd uiteengezet, verkrijgt men met deze methode een beeld van flinke afmetingen, terwijl men de bezwaren ontloopt die zijn verbonden aan het gebruik van grote kathodestraalbuizen voor direct zicht. Dank zij de oplossing die Philips heeft gevonden voor diverse kwesties welke zich bij deze projectie-ontvangst voordoen, is de prijs van het ontvangtoestel geenszins in evenredigheid met de beeldgrootte gestegen. Wij herinneren dienaangaande aan de kleine kathodestraalbuis, waarover artikel II bijzonderheden gaf en die een aanzienlijke besparing betekent, vergeleken met de buis die bij direct zicht nodig zou zijn voor een beeld even groot als het projectiebeeld. Daar staat weliswaar tegenover dat voor het projecteren een optiek nodig is, doch deze behoeft geen kostbare onderdelen te bevatten. Zoals in artikel I werd beschreven, is het gelukt de optiek zeer klein van afmetingen te houden, o.a. door een bijzondere plaatsing van de spiegels waaruit zij bestaat. Dit komt ten goede aan het streven, de afmetingen van de kast, en daarmee ook de prijs, te reduceren.

Een ander onderdeel waarop het de moeite waard is te bezuinigen, is de gelijkrichter voor het voeden van de kathodestraalbuis met een spanning die in het onderhavige geval 25 kV bedraagt, bij een

[1]) P. M. van Alphen en H. Rinia, Een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, I. De projectie-optiek, Philips techn. T. **10**, 97-106, 1948 (No. 4).

[2]) J. de Gier, Een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, II. De kathodestraalbuis, Philips techn. T. **10**, 129-136, 1948 (No. 5).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stroom van de orde van 0,1 mA. De ervaring leert, dat een gelijkrichter voor zulk een hoge spanning onhandig groot en zwaar wordt, als men op traditionele wijze de wisselspanning van het lichtnet omhoogtransformeert en gelijkricht. Bovendien zou dan bij een eventuele kortsluiting de stroom ontoelaatbaar groot worden.

Er zijn dan ook andere wegen gezocht. Wij zullen thans een methode bespreken volgens welke de gelijkrichter wordt gevoed uit een afzonderlijke impulsgenerator, die met een frequentie van de orde van 1000 per/sec werkt. Deze methode heeft geleid tot de constructie van een weinig kostbaar apparaat, dat zich leent voor compacte bouw en dat werkt met een goed rendement.

Volgens een andere methode gaat men uit van de „zaagtand"-vormige stroom die het magnetische veld voor de horizontale afbuiging van de electronenbundel in de kathodestraalbuis opwekt. Deze methode is wel economisch, doch heeft bij zo hoge spanningen als 25 kV het nadeel dat de verkregen gelijkspanning sterk afhankelijk is van de amplitude der horizontale afbuiging. Hiermee hangt samen dat de spanning tot ontoelaatbaar hoge waarden oploopt, indien de synchronisatie verloren zou gaan. Een ander nadeel is dat de belasting die de gelijkrichter vormt, de terugslagtijd van de electronenstraal verlengt. Door het gebruik van de hieronder te bespreken afzonderlijke impulsgenerator vermijdt men deze bezwaren.

Er is nog een andere methode bekend, waarbij de gelijkrichter over een band-doorlatend filter wordt gevoed uit een afzonderlijke hoogfrequente oscillator [3]). De meest geschikte frequentie ligt tussen 0,3 en 1,2 Mper/sec. Er is dan ook een zorgvuldige afscherming nodig om storing door deze radiofrequenties te voorkomen. Bovendien heeft deze methode als nadelen dat het rendement laag is en de apparatuur vrij omvangrijk.

Principe en voordelen van de impulsgenerator

De werking van de impulsgenerator is gebaseerd op het ontstaan van spanningsstoten bij het onderbreken van de stroom die door een spoel vloeit. Dit onderbreken veroorzaakt een trilling in de kring die de zelfinductie L van de spoel vormt met de eigencapaciteit C_p. Is I_{max} de stroomsterkte op het ogenblik van onderbreken, dan is de topwaarde V_{max} die de oscillatiespanning aan de kring bereikt, bij benadering gegeven door

$$V_{max} = I_{max} \sqrt{\frac{L}{C_p}} , \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

want de energie $^1/_2 LI^2_{max}$ die bij het verbreken in het magnetische veld van de spoel was opgehoopt, bevindt zich even later als $^1/_2 C_p V^2_{max}$ geheel in het electrische veld van de trillingskring (op een klein bedrag na, dat intussen als gevolg van diverse verliezen in warmte is omgezet).

Substitueren wij in (1) bijv. de volgende waarden: $I_{max} = 120$ mA, $L = 0{,}5$ H en $C_p = 50$ pF, dan vinden we: $V_{max} = 12\,000$ V. Dit getallenvoorbeeld toont aan dat men op deze wijze een wisselspanning

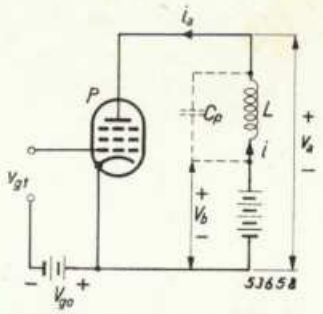


Fig. 1. Principeschema van een impulsgenerator. L = zelfinductie van een spoel (met eigencapaciteit C_p) in de anodekring van een penthode P.

met een top van de orde van 10 kV kan krijgen met waarden van L en C_p die zeer goed te verwerkelijken zijn, en dat de benodigde stroom kan worden geleverd door een eindpenthode van middelmatig vermogen, in de anodekring van welke buis de spoel is opgenomen (*fig. 1*). Het onderbreken van de stroom kan dan zeer doelmatig geschieden door de stuurroosterspanning van de buis plotseling zo negatief te maken dat de anodestroom is geblokkeerd.

Op de klemmen van de spoel kan men een gelijkrichter aansluiten, bestaande uit bijv. een cascadeschakeling [4]), waarmee een gelijkspanning is te krijgen die een veelvoud van de spanningspiek V_{max} aan de ingang bedraagt. Wij komen hierop aanstonds terug.

Ofschoon de krommevorm van de anodestroom i_a vóór het onderbreken er in beginsel weinig toe doet, heeft een lineair oplopen, zoals *fig. 2* in de voor i_a geldende kromme laat zien, enkele voordelen in vergelijking met bijv. het geval waarin i_a een rechthoekig verloop met afwisselend de waarden 0 en I_{max} zou hebben. Zo is bij de afgebeelde vorm het rendement gunstiger en bestaat er minder kans op overbelasting van de buis.

De bedoelde krommevorm van de anodestroom is op eenvoudige wijze te verkrijgen door als stuurroosterspanning van de penthode een wisselspanning (v_{g1}, fig. 1) met zaagtandvorm te nemen (geleverd door een afzonderlijke generator), gecombineerd met een geschikt gekozen negatieve voorspanning V_{g0}. Na het onderbreken moet de

[3]) O. H. Schade, Radio-frequency operated high-voltage supplies for cathode-ray tubes, Proc. I.R.E. **31**, 158-163, 1943.

[4]) Zie bijv. Philips techn. T. **1**, 6-10, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stuurroosterspanning gedurende enige tijd voldoende negatief blijven om de anodestroom geblokkeerd te houden, ondanks de hoge positieve anodespanningen die dan optreden (zie fig. 2, kromme voor v_a).

Is T de tijd die tussen twee opeenvolgende onderbrekingen verloopt, en α het breukdeel van T gedurende hetwelk er anodestroom vloeit (zie fig. 2), dan geldt voor het constante spanningsverschil ΔV_a dat tijdens het interval αT aan de spoel optreedt:

$$\Delta V_a = L \frac{\mathrm{d}i_a}{\mathrm{d}t} = \frac{L I_{\max}}{\alpha T},$$

waaruit volgt voor de onderbrekingsfrequentie $f_i = 1/T$:

$$f_i = \frac{\alpha \Delta V_a}{L I_{\max}}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

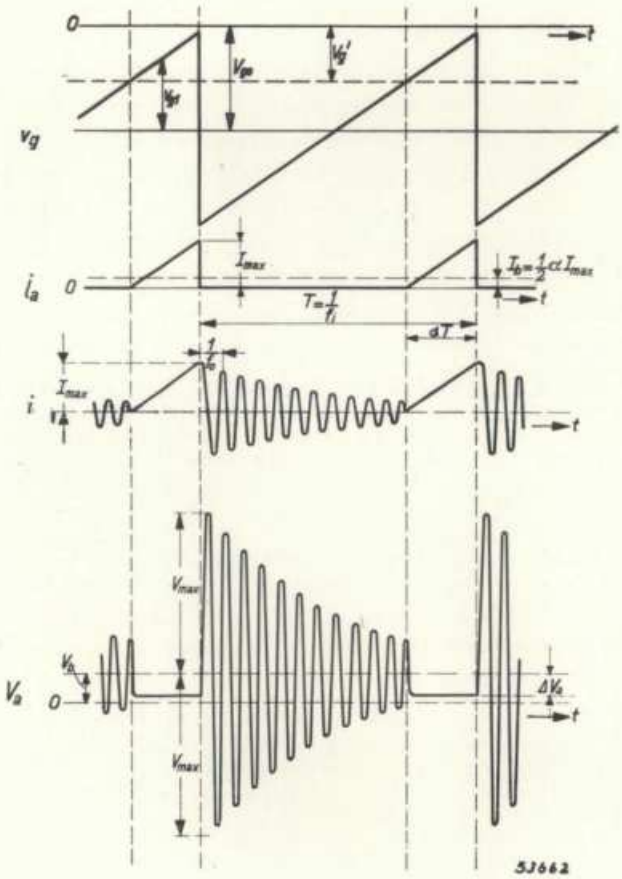


Fig. 2. Verloop van spanningen en stromen met de tijd t in de schakeling volgens fig. 1. v_g = stuurroosterspanning, bestaande uit een voorspanning V_{g0} en een zaagtandspanning v_{gt} (periode $T = 1/f_i$). Gedurende de tijd αT is v_g hoger dan de waarde V_g' waarbij de anodestroom i_a is geblokkeerd. I_{max} = waarde waarbij i_a wordt onderbroken. I_b = gemiddelde waarde van i_a, i = stroom in de spoel, met de eigenfrequentie f_0 van de kring L-C_p, v_a = anodespanning van de penthode, V_b = voedingsgelijkspanning, ΔV_a = spanningsverval in de spoel tijdens het vloeien van de anodestroom (interval αT), V_{max} spanningspiek van de eigentrilling.

Het breukdeel α maakt men om practische redenen liever niet kleiner dan 0,25. De hoogste waarde van ΔV_a is gelijk aan het verschil van de gelijkspanning V_b die de anodekring voedt, en de minimale anodespanning $V_{a\,min}$ die nodig is om de anodestroom bij benadering onafhankelijk van de anodespanning te doen zijn. Is deze minimale anodespanning bijv. 50 V, en V_b = 350 V, dus $(\Delta V_a)_{max}$ = 300 V, dan vindt men uit (2), met α = 0,25 en met de reeds eerder gebruikte waarden van L (= 0,5 H) en I_{max} (= 120 mA):

$$f_i = \frac{0{,}25 \cdot 300}{0{,}5 \cdot 0{,}120} = 1250 \text{ per/sec.}$$

Deze frequentie is zoveel hoger dan de netfrequentie dat het afvlakken van de gelijkgerichte spanning veel gemakkelijker kan geschieden dan het geval zou zijn indien men hierbij te maken had met frequenties van de orde der netfrequentie.

Met bijv. L = 0,5 H en C_p = 50 pF is de eigenfrequentie f_0 van de trillingskring 32 000 per/sec. Deze ligt zo ver buiten het gebied der radiofrequenties dat men daarvan geen storing behoeft te vrezen.

In fig. 2 is ook het verloop van de stroom i in de spoel en van v_a als functie van de tijd t aangegeven.

Alvorens op enige bijzonderheden nader in te gaan, willen wij hier reeds onder de aandacht brengen dat de besproken methode een zeer doelmatige regeling van de spanning mogelijk maakt. De verkregen spanningspiek V_{max} (en daarmee de gelijkspanning) is volgens verg. (1) immers evenredig met I_{max}, waarvan men de waarde zeer eenvoudig kan regelen met behulp van de voorspanning op het stuurrooster. Het is dan nog slechts een kleine stap verder, deze regeling automatisch te maken door deze voorspanning te laten afhangen van de verkregen piekspanning V_{max}. Op deze wijze is het mogelijk, tussen bepaalde grenzen van de belasting een zeer constante gelijkspanning te verkrijgen (met andere woorden, de gelijkrichter een zeer lage inwendige weerstand te geven), terwijl toch de kortsluitstroom niet veel groter is dan de normale bedrijfsstroom.

De gelijkrichter

Theoretisch kan men met V_{max} iedere willekeurige waarde bereiken; men zou deze dus zo hoog kunnen kiezen dat men reeds met behulp van één ventiel en één condensator de gewenste gelijkspanning kreeg (hier 25 kV). Er zijn echter practische redenen waarom wij in ons geval de voorkeur geven aan een lagere waarde van V_{max}, gecombineerd met een spanningsvermenigvuldiging door middel van een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

cascadeschakeling van ventielen en condensatoren. De overwegingen die hiertoe leiden, zijn de volgende.

Ten eerste dienen we in aanmerking te nemen dat bij penthoden van middelmatige grootte de maximaal toelaatbare topwaarde van de anodespanning (hier $V_b + V_{max}$) beperkt is, bij type EL 50 bijv. tot ongeveer 6 kV. Men kan trachten de topspanning onder deze grens te houden door de anode te leggen aan een aftakking van de spoel, welke dan een autotransformator vormt die omhoogtransformeert. Als men hiermee zover ging dat spanningsvermenigvuldiging onnodig werd, dan zou òf de spoel zeer groot moeten zijn, òf de anodestroom waarden moeten aannemen die boven de voor de buis EL 50 vastgestelde grenswaarden liggen.

De energie die de transformator bij iedere impuls moet leveren, ligt vast, zij is nl. $^1/_2 L' I'^2_{max}$, waarin L' de zelfinductie van het primaire gedeelte der spoel is. Wil men nu de transformatieverhouding zo hoog kiezen dat men het zonder spanningsvermenigvuldiging in de gelijkrichter kan stellen, dan zijn de twee uiterste mogelijkheden de volgende. Men kan ten eerste L' gelijk kiezen aan de waarde L die volgens (1) de gewenste hoge spanningspiek V_{max} levert; wegens de grote transformatieverhouding is dan echter de gehele spoel veel groter dan het primaire gedeelte. Of wel men kan de zelfinductie L'' van de gehele spoel gelijk aan L kiezen, doch dan is L' veel kleiner dan L, zodat men, volgens (1), de stroom I_{max} aanzienlijk zou moeten vergroten.

Bij de gekozen uitvoering wordt de spanning in geringe mate opgetransformeerd (1 : 1,4), zodat spanningsvermenigvuldiging noodzakelijk blijft.

In de tweede plaats dienen we, wat de ventielen betreft, te bedenken dat in een cascadeschakeling met n trappen de spanning die elk der n ventielen te verduren krijgt, ruwweg slechts $2/n$ van de geleverde gelijkspanning V_h is. Het gebruik van n ventielen die elk zijn berekend voor de spanning $2V_h/n$, kan verkieslijk zijn boven dat van één ventiel dat de spanning $2V_h$ zou moeten kunnen verdragen.

Een derde punt van overweging wordt gevormd door de afmetingen van de spoel, die sterk toenemen met de verlangde grootte van de piekspanning V_{max}.

Dit is als volgt in te zien. Uit (1) leidt men gemakkelijk de volgende formule af:

$$V_{max} = B \sqrt{\frac{Q.(l + \mu_r d)}{\mu_r C_p}}, \quad . \quad . \quad . \quad (3a)$$

waarin B de magnetische inductie voorstelt, Q de doorsnede van het magnetische circuit, l de gemiddelde lengte der krachtlijnen in de ferromagnetische kern (waarvan μ_r de relatieve permeabiliteit is), en d de grootte van de luchtspleet [5]). Voor verschillende spoelen met dezelfde waarde van B, bij een telkens zodanig gekozen grootte van de luchtspleet dat L maximaal is, geldt dat deze gunstigste luchtspleet bij al deze spoelen ongeveer een zelfde breukdeel λ van de lengte l uitmaakt, zodat (3a) overgaat in

$$V_{max} = B \sqrt{\frac{Ql\ (1 + \lambda\mu_r)}{\mu_r C_p}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3b)$$

Het volume Ql van de ferromagnetische kern is dus ongeveer evenredig met V^2_{max}. (Hierbij is de eigencapaciteit C_p constant ondersteld; in werkelijkheid echter neemt C_p toe met de grootte van de spoel, zodat het volume in nog sterkere mate dan V^2_{max} met de spanning zal moeten aangroeien.)

Pleiten dus een aantal omstandigheden voor het tamelijk laag houden van de spanning V_{max}, niet rationeel zou het zijn, een zeer groot aantal trappen in cascade te gebruiken. Er dient dus een compromis te worden gevonden. Daartoe zullen we eerst de cascadeschakeling wat nader beschouwen.

Cascadeschakeling

In een cascadeschakeling vormt een der ingangsklemmen tevens een der gelijkstroompolen. Nu moet in ons geval de negatieve klem geaard worden. Daaruit volgt dat die zijde van de kring L-C_p (fig. 1) die met $+ V_b$ is verbonden, de negatieve pool moet zijn. Dit leidt tot de in *fig. 3a* en *b* aangegeven schakelingen, die gelden voor een even resp. een oneven aantal trappen n in cascade. (Zoals zal blijken, treden er kleine verschillen op in de formules die in

[5]) Er wordt hier gewerkt met Giorgi-eenheden (zie bijv. Philips techn. T. **10**, 79-86, 1948 (No. 3)). V_{max} is dus uitgedrukt in V, B in Wb/m², Q in m², l en d in m, C_p in F, en μ_r is de permeabiliteit in verhouding tot die van het vacuum.

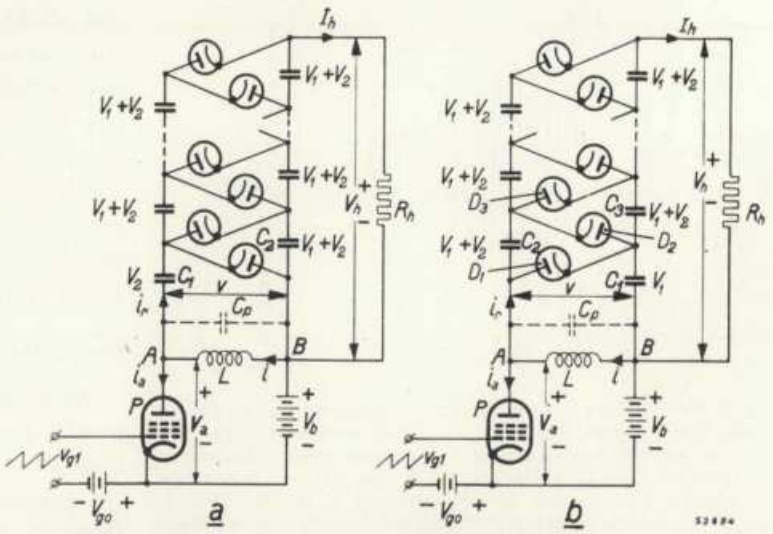


Fig. 3. Gelijkrichter in cascadeschakeling, aangesloten op een impulsgenerator, (*a*) met even, (*b*) met oneven aantal trappen. V_h = afgegeven gelijkspanning, R_h = belastingsweerstand, waardoor de gelijkstroom I_h vloeit; i_r = stroom die de gelijkrichter opneemt. Voor V_1 en V_2, zie fig. 4.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

deze twee gevallen — welke beide in principe bruikbaar zijn — geldig zijn. Wegens deze verschillen echter moet men steeds onderscheid maken tussen n = even en n = oneven.)

Om te beginnen willen we in het kort ingaan op het verloop van de spanningen en stromen met de tijd. We beperken ons daarbij tot de stationnaire toestand en voeren enkele vereenvoudigende onderstellingen in, waaraan in de praktijk met voldoende benadering is voldaan. We zullen namelijk de inwendige weerstand der ventielen verwaarlozen, en aannemen dat de condensatoren van de cascadeschakeling een capaciteit bezitten die niet alleen groot ten opzichte van C_p is, doch ook zo groot dat de rimpelspanning op deze condensatoren mag worden verwaarloosd. Op elk der condensatoren staat dus een zuivere gelijkspanning.

Uit fig. 3 volgt, dat onmiddellijk na iedere onderbreking van de anodestroom de spanning aan de kring L-C_p de polariteit heeft waarbij A positief ten opzichte van B is.

Beperken we ons voorlopig tot het geval n = *oneven* (fig. 3*b*). Zodra v de waarde V_1 van de gelijkspanning op de condensator C_1 heeft bereikt, wordt de eerste diode (D_1) geleidend en komt dus de capaciteit C_1 parallel te staan met de veel kleinere capaciteit C_p. De kringspanning v kan dan ook niet

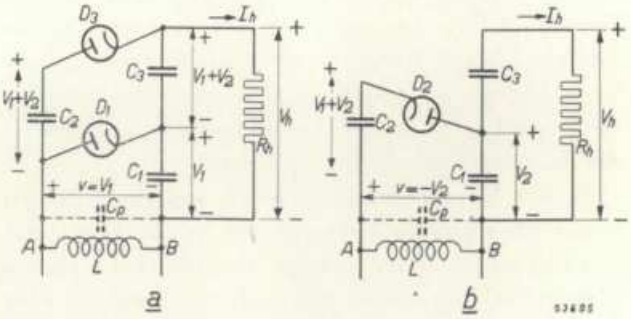


Fig. 5. Deze figuur komt overeen met fig. 3*b*, voor $n = 3$. Bij (*a*) is de toestand tijdens het eerste gelijkrichtinterval beschouwd ($v = V_1$), waarin de niet getekende diode D_2 stroomloos is. (*b*) geldt voor het tweede gelijkrichtinterval ($v = -V_2$); hier zijn de dan stroomloze dioden D_1 en D_3 weggelaten.

stijgen tot de topwaarde V_m die zij bij afwezigheid van de gelijkrichter zou bereiken, maar blijft beperkt tot de waarde V_1 (*fig. 4*, kromme v). Zodra de stroom door de diode ophoudt — hetgeen het einde van het eerste gelijkrichtinterval t_{r1} betekent —, zal v gaan dalen, en wel volgens een cosinusfunctie met de aanvangswaarde V_1.

Zodra v voldoende negatief is geworden, met andere woorden, zodra de kringspanning, ondersteund door de spanning V_1 op de eerste condensator, de waarde bereikt die aan de tweede condensator, C_2, heerst, kan er stroom gaan lopen door de tweede diode (D_2 in fig. 3*b* en ook in *fig. 5b*, die met fig. 3*b* overeenkomt voor $n = 3$, doch waaruit de tijdelijk stroomloze dioden D_1 en D_3 zijn weggelaten). Van dat ogenblik af wordt v weer constant gehouden (nu op een waarde die wij $-V_2$ zullen noemen, zie kromme v in fig. 4), daar de grote capaciteit, gevormd door C_1 en C_2 in serie, zich parallel aan C_p bevindt. Uit fig. 5*b* lezen we nu af dat de spanning op C_2 de waarde $V_1 + V_2$ heeft. Het tweede gelijkrichtinterval, t_{r2}, duurt tot de stroom nul is geworden.

De volgende toppen van v zijn, ten gevolge van de demping, in absolute waarde kleiner dan V_2; zij kunnen dus niet tot de gelijkrichting bijdragen. Per periode T treden derhalve slechts de genoemde twee gelijkrichtintervallen op.

Gedurende deze intervallen is, zoals we zagen, de spanning op de kring constant, dwz. de stroom door C_p is dan nul en de stroom i door de spoel een lineaire functie van de tijd. Wegens de continuïteitsvoorwaarden, die zich verzetten tegen sprongen in de stroom door een spoel en in de spanning op een condensator, moet i tijdens het eerste interval ver-

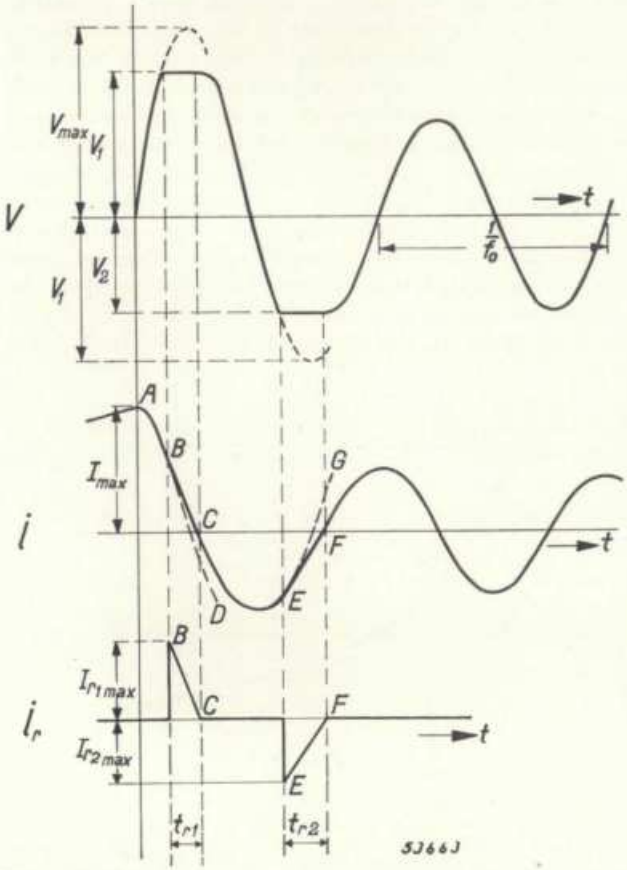


Fig. 4. Verloop van spanningen en stromen met t in de schakeling volgens fig. 3*b*. v = spanning aan de spoel, i = stroom door de spoel, i_r = door de gelijkrichtketen opgenomen stroom. V_1, V_2 = amplitude van de eerste resp. tweede spantop; t_{r_1}, t_{r_2} = duur van het eerste resp. tweede gelijkrichtinterval.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

lopen volgens de raaklijn BC aan de gedempte cosinuslijn ABD in het punt B, dat met het begin van het interval correspondeert (fig. 4, kromme i). Evenzo volgt het stroomverloop gedurende het tweede interval de raaklijn EF aan de gedempte sinuslijn CEG. Aangezien we het gedeelte van de periode T beschouwen waarin de anodestroom $i_a = 0$ is, is tijdens de gelijkrichtintervallen de stroom i in de spoel gelijk aan de stroom i_r (fig. 4, kromme i_r) die de cascadeschakeling opneemt.

In het bovenstaande kwamen van de n dioden slechts de eerste en de tweede ter sprake. Hoe is het stroomverloop in de overige ventielen? In fig. 5*a* is de schakeling met $n = 3$ nog eens getekend voor de toestand gedurende het eerste gelijkrichtinterval, met weglating van de dan stroomloze diode D_2. Wij zagen reeds uit fig. 5*b* dat C_2 over D_2 tot de spanning $V_1 + V_2$ werd geladen. Men bewijst gemakkelijk uit het ongerijmde dat de spanning aan C_3 eveneens $V_1 + V_2$ moet bedragen. Tijdens het eerste gelijkrichtinterval nu bestaat de cascadeschakeling niet alleen uit de stroomweg D_1-C_1 tussen de ingangsklemmen A en B, maar daaraan is een tweede weg, C_2-D_3-C_3-C_1, parallelgeschakeld. Langs deze tweede weg heffen de spanningen aan C_2 resp. C_3 elkaar op, zodat de toestand is alsof de dioden D_3 en D_1 rechtstreeks parallel waren geschakeld. De stroom i_r verdeelt zich dus gelijkmatig over de beide takken.

Deze redenering kan natuurlijk worden voortgezet voor oneven aantallen $n > 3$. Zij leidt dan tot de gevolgtrekking dat op alle cascadecondensatoren de spanning $V_1 + V_2$ heerst (behalve op de eerste, waarop de spanning V_1 bedraagt), en dat de n ventielen in twee groepen zijn te verdelen: een groep van n_1 ventielen (in fig. 3*b* meer naar links getekend) die gelijktijdig in het eerste gelijkrichtinterval werken, en een groep van n_2 ventielen (meer naar rechts in fig. 3*b*) die gedurende het tweede gelijkrichtinterval werkzaam zijn. Zoals men gemakkelijk kan nagaan, is $n_1 = (n+1)/2$, $n_2 = (n-1)/2$.

Het ligt voor de hand dat men voor n = *even* (fig. 3*a*) soortgelijke beschouwingen kan houden. Hier zij volstaan met de vermelding dat de zojuist gegeven conclusie ook geldt voor n = even, met deze verschillen alleen dat de spanning op de eerste condensator niet V_1, doch V_2 bedraagt, en dat ieder der gelijktijdig werkende groepen van ventielen bestaat uit $n/2$ stuks.

Enige belangrijke karakteristieken

Na deze kwalitatieve beschouwingen over de cascadeschakeling gaan we over tot de bespreking van enige belangrijke karakteristieken, en wel in de eerste plaats van de uitwendige karakteristiek waaronder we hier willen verstaan de afgegeven gelijkspanning V_h als functie van $1/R_h$ (R_h = belastingsweerstand). Uit deze karakteristiek zal later de inwendige weerstand worden afgeleid.

Uit fig. 3*a* en *b* volgt voor de gelijkspanning V_h aan de uitgangsklemmen:

$$V_h = n_1 V_1 + n_2 V_2,$$

ongeacht of n even of oneven is.

Bij nullast is klaarblijkelijk $V_1 = V_2 = V_{max}$, zodat we voor de verhouding y van V_h tot de nullastspanning V_{h0} kunnen schrijven:

$$y = \frac{V_h}{V_{h0}} = \frac{V_h}{nV_{max}} = \frac{n_1}{n}\frac{V_1}{V_{max}} + \frac{n_2}{n}\frac{V_2}{V_{max}}. \quad (4)$$

De onbekende grootheden V_1 en V_2 kunnen worden geëlimineerd met behulp van de volgende twee energie-vergelijkingen:

$$^1/_2\, C_p\,(V_{max}^2 - V_1^2) = n_1 V_1 V_h T/R_h, \quad (5)$$

$$^1/_2\, C_p\,(V_1^2 - V_2^2) = n_2 V_2 V_h T/R_h \quad (6)$$

Verg. (5) drukt uit dat de energie die de trillingskring afstaat gedurende het eerste gelijkrichtinterval, is gebruikt om van n_1 cascadecondensatoren de lading aan te vullen die er door de uitwendige belasting in één periode T aan wordt onttrokken. Immers, op het ogenblik waarop de anodestroom wordt onderbroken, bedraagt de energie in het electromagnetische veld $^1/_2 LI_{max}^2$. Afziende van de kringverliezen mogen we hiervoor schrijven: $^1/_2 C_p V_{max}^2$. Aan het einde van het eerste gelijkrichtinterval is $i = 0$, $v = V_1$, zodat de kring-energie dan $^1/_2 C_p V_1^2$ bedraagt. Het linkerlid van (5) geeft dus de energie aan die de kring tijdens het eerste gelijkrichtinterval heeft verloren. De belastingsstroom I_h komt tot stand doordat de cascadecondensatoren lading afstaan die door de weerstand R_h vloeit. In één periode T vloeit door R_h de lading

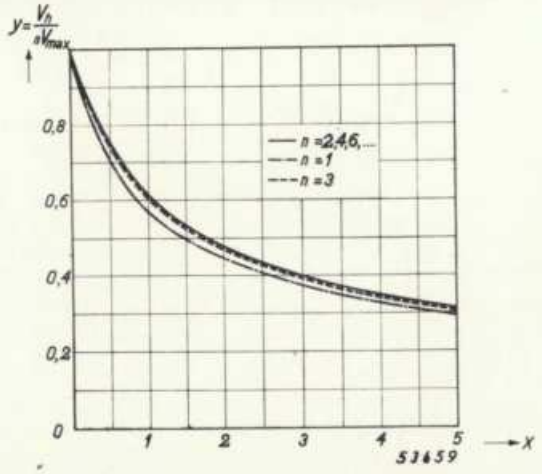


Fig. 6. De algemene uitwendige karakteristiek $y = f(x)$ waarbij y een maat voor de gelijkspanning V_h is en x omgekeerd evenredig met de belastingsweerstand R_h is. De bovenste kromme geldt voor even waarden van het aantal trappen n, de onderste voor $n = 1$, de middelste voor $n = 3$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

$I_hT = V_hT/R_h$. Gedurende het eerste gelijkrichtinterval ontvangen n_1 van de n condensatoren een aanvullende lading. De bron hiervan is de kring, waarvan de spanning V_1 is. De geleverde energie bedraagt dus $n_1 V_1 V_hT/R_h$, zoals het rechterlid van (5) aangeeft.

Op soortgelijke wijze kan men laten zien dat (6) de energie-overdracht gedurende het tweede gelijkrichtinterval weergeeft.

We zullen hier niet verder op het elimineren van V_1 en V_2 uit (4), (5) en (6) ingaan, daar deze berekeningen reeds elders zijn weergegeven [6]). Het resultaat vindt men in *fig. 6*, waar $y = V_h/V_{h0}$ is voorgesteld als functie van een met $1/R_h$ evenredige grootheid x, die in de berekening blijkt op te treden en die is gedefinieerd door

$$x = \frac{n^2}{C_p}\frac{T}{R_h} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Zoals blijkt, vindt men één kromme voor alle even waarden van n, en een aantal iets daarvan afwijkende krommen, elk voor een oneven waarde van n. Naarmate het oneven aantal n groter is ten opzichte van 1, nadert de oplossing meer en meer tot die voor n = even.

Om een indruk te geven van de orde van grootte van x, gebruiken we de reeds vermelde getalwaarden: $T = 1/1250$ sec en $C_p = 50$ pF, waaraan, indien V_h en I_h resp. 25 kV en 100 μA bedragen, nog kan worden toegevoegd: $R_h = 250$ MΩ. Dan is $x = 0{,}064$ voor $n = 1$; 0,26 voor $n = 2$; 0,58 voor $n = 3$.

Zoals men in fig. 6 ziet, lopen de krommen in dit gebied steil omlaag, hetgeen er reeds een aanwijzing voor is dat de inwendige weerstand hoog zal zijn. Dit zullen we aanstonds bevestigd vinden.

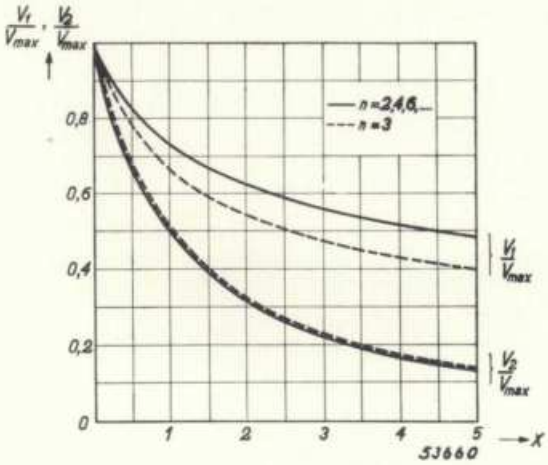


Fig. 7. De verhouding van de eerste en de tweede spanningstop, V_1 resp. V_2, tot V_{max}, als functie van x. De getrokken krommen gelden voor n = even, de gestippelde voor $n = 3$.

[6]) G. J. Siezen en F. Kerkhof, Home projection television, Part II. Pulse-type high-voltage supply, Proc. I.R.E. **36**, 401-407, 1948 (No. 3), in het bijzonder blz. 404 en 405.

Behalve $V_h = f(x)$, zijn nog enige andere grafieken van belang, namelijk die welke het verloop van de spanningen V_1 en V_2 elk afzonderlijk met x weergeven, en ook de grafieken van de topwaarden

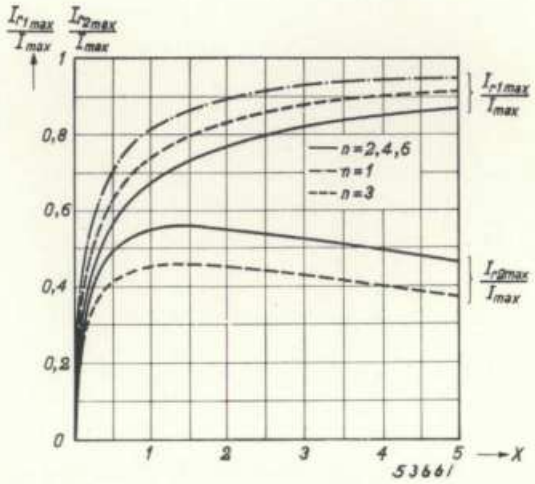


Fig. 8. Als functie van x zijn hier uitgezet de eerste en de tweede stroomtop, $I_{r1\,max}$ resp. $I_{r2\,max}$, van de stroom i_r in de gelijkrichtketen, beide in verhouding tot I_{max}, voor n = even, $n = 1$ en $n = 3$.

I_{r1max} en I_{r2max} der impulsen waar i_r uit bestaat (zie fig. 4, kromme i_r). Met behulp van de bovenstaande beschouwingen kunnen deze karakteristieken worden afgeleid uit de verg. (4)-(7). In *fig. 7* en *8* vindt men de resultaten: fig. 7 geeft V_1/V_{max} en V_2/V_{max}, en fig. 8 $I_{r1\,max}/I_{max}$ en $I_{r2\,max}/I_{max}$, in afhankelijkheid van x, voor n = even resp. $n = 1$ en $n = 3$.

Men ziet in fig. 7 dat bij toenemende belasting V_2 veel sneller daalt dan V_1, een omstandigheid waarop wij straks terugkomen.

Fig. 8 is van belang met het oog op de keuze van het aantal trappen n. Boven werd afgeleid dat de topstromen $I_{r1\,max}$ en $I_{r2\,max}$ zich over n_1 resp. n_2 parallelgeschakelde ventielen verdelen. De topstroom in elk der n_1 ventielen vindt men dus door $I_{r1\,max}$ door n_1 te delen; evenzo is $I_{r2\,max}/n_2$ de topstroom in elk der n_2 andere ventielen. Kiest men n = even, dwz. $n_1 = n_2 = n/2$, dan is volgens fig. 8 de topstroom in de n_1 ventielen groter dan die in de tweede groep. Neemt men daarentegen $n = 3$, dus $n_1 = 2$ en $n_2 = 1$, dan worden de topstromen in de drie ventielen ongeveer gelijk, hetgeen uiteraard het meest economische is. (Bovendien is de keuze $n = 3$ gunstig in andere opzichten, zoals de dimensionnering van de spoel in de anodekring van de penthode.)

Inwendige weerstand en automatische regeling

De inwendige weerstand $R_i = -\mathrm{d}V_h/\mathrm{d}I_h$ van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de gelijkrichter kan met behulp van (7) in de volgende vorm worden gebracht:

$$R_i = \frac{-n^2 y'}{y + x y'} \cdot \frac{T}{C_p},$$

waarin $y' = dy/dx$.

In het bijzonder willen wij hier de waarde R_{i0} van de inwendige weerstand bij zeer kleine belasting beschouwen, dus de helling van de karakteristiek $V_h = f(I_h)$ in haar beginpunt op de V_h-as. We vinden deze aanvangswaarde (die we voortaan gemakshalve „de" inwendige weerstand zullen noemen) door in de laatste formule $x = 0$ te stellen en voor y en y' de bijbehorende waarden te substitueren, die uit de verg. (4)-(7) kunnen worden berekend. We vinden dan een uitdrukking die zich tot de volgende vorm laat herleiden:

$$R_{i0} = \frac{n_1^2 + n_1 n_2 + n_2^2}{2 n^2} \cdot \frac{V_b}{\Delta V_a} \cdot \frac{V_{h0}^2}{W_b}. \qquad (8)$$

Hierin stelt W_b het vermogen voor dat de gelijkspanningsbron (spanning V_b) in de anodekring (fig. 1) levert.

W_b is gelijk aan het product van V_b en de gemiddelde waarde I_b van de anodestroom. Uit fig. 2, kromme i_a, leest men af dat $I_b = {}^1/_2\, a\, I_{max}$.

De factor $(n_1^2 + n_1 n_2 + n_2^2)/2n^2$ heeft voor $n =$ even de waarde ${}^3/_8$; voor $n =$ oneven varieert hij van ${}^1/_2$ voor $n = 1$ tot ${}^3/_8$ voor $n = \infty$.

Uit (8) zien we, dat, bij een gegeven waarde van de spanningen V_{h0}, V_b en ΔV_a, en bij een gegeven aantal trappen n, de inwendige weerstand omgekeerd evenredig is met het toegevoerde vermogen W_b. Een getallenvoorbeeld zal laten zien dat een aanzienlijk vermogen W_b nodig is om tot een redelijke waarde van R_{i0} te komen (indien althans geen bijzondere maatregelen zijn genomen, waarop wij aanstonds terugkomen).

Stel bijv. $n = 3$, $V_{h0} = 25$ kV, $V_b = 350$ V, $\Delta V_a = 280$ V, $R_h = 250$ MΩ. Om een waarde van R_{i0} te bereiken die bijv. 2% van R_h (dus 5 MΩ) bedraagt, moet volgens (8) W_b ruim 60 W zijn. Dit betekent niet alleen dat het rendement zeer laag zou zijn (daar het afgegeven vermogen immers slechts enkele W bedraagt), maar bovendien dat de anodestroom de hoge gemiddelde waarde van 175 mA zou moeten hebben.

Deze moeilijkheid nu is opgelost door het gebruik van een automatische regelspanning op het stuurrooster van de penthode (fig. 1). Deze regelspanning, die afhankelijk is van de grootte der spanningspieken aan de kring L-C_p, wordt verkregen door gelijkrichting van de wisselspanning die wordt geïnduceerd in een met de spoel L gekoppelde wikkeling. Dank zij deze automatische regeling daalt de gelijkspanning slechts weinig, als de belastingsstroom van nul af tot een zekere grens toeneemt, zonder dat hiervoor een groot vermogen behoeft te worden toegevoerd; formule (8) is dan ook niet meer van kracht. Bij belastingen boven de bedoelde grens echter daalt de spanning snel. Dit is een waardevolle eigenschap van het systeem, aangezien kortsluiting van de gelijkstroomklemmen er betrekkelijk onschadelijk door wordt gemaakt.

Om de gevoeligheid van de regeling zo groot mogelijk te maken, zijn twee maatregelen genomen:

1) de wikkeling is zo aangesloten dat de met de

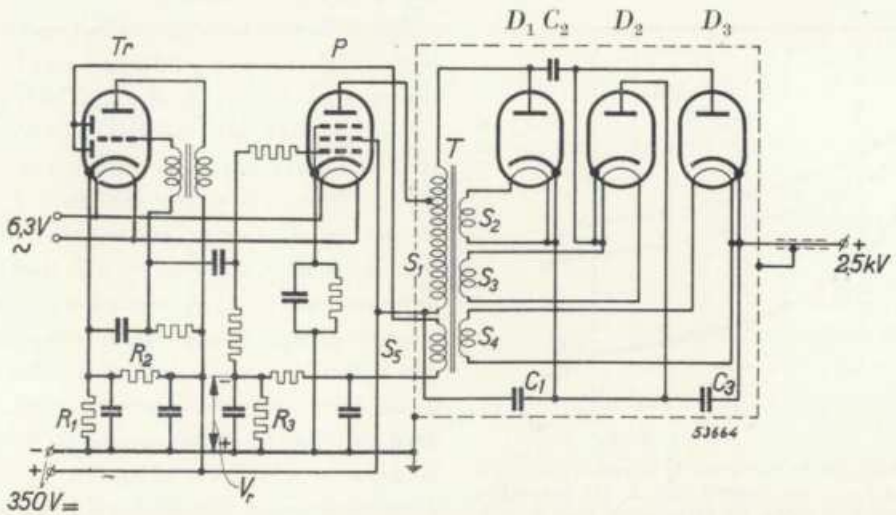


Fig. 9. Volledige schakeling van impulsgenerator en gelijkrichter. Tr = triode EBC 3 voor het opwekken van de zaagtandspanning, P = penthode EL 50 met de spoel S_1 van de transformator T in de plaatkring. S_2, S_3, S_4 = gloeistroomwikkeling der dioden D_1, D_2, D_3 (type EY 51). S_5 = wikkeling voor de regelspanning V_r. De voeding geschiedt met 350 V gelijkspanning.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spanningspiek V_2 evenredige spanning wordt gelijkgericht; V_2 varieert namelijk in sterkere mate met de belasting dan V_1, zoals boven reeds werd opgemerkt (fig. 7).

2) In serie met de gelijk te richten wisselspanning is een constante gelijkspanning als tegenspanning geschakeld; bij gevolg zal bij variërende belasting de resulterende regelspanning percentsgewijs sterker veranderen dan de geïnduceerde wisselspanning. Op bijzonderheden van de uitvoering komen wij terug in de volgende paragraaf bij de bespreking van een practisch voorbeeld.

Door het gebruik van spanningsverdrievoudiging ($n = 3$) wordt de piekspanning die aan de spoel S_1 optreedt, beperkt tot ca 8,5 kV. De gelijkrichtbuizen (type EY 51, *fig. 10*) zijn ontworpen voor een maximale negatieve anodespanning van 20 kV. De verzadigingsstroom is ongeveer 200 mA. Elk der gloeidraden ontleent het vermogen voor zijn verwarming (0,5 W) aan een wikkeling (S_2, S_3, S_4, fig. 9), die uit enkele met S_1 gekoppelde windingen bestaat.

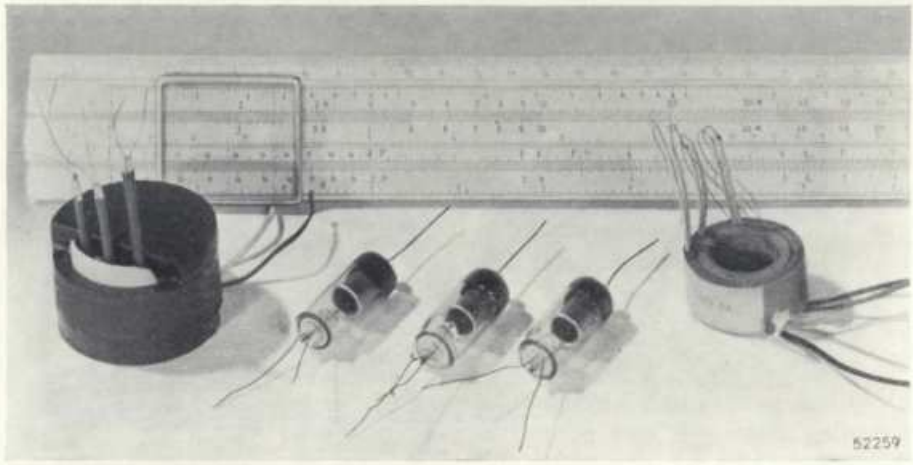


Fig. 10. In het midden de drie dioden EY 51 (maximale negatieve anodespanning 20 kV, verzadigingsstroom ca 200 mA, lengte van de ballon 40 mm, middellijn 14 mm). Links de transformator T van fig. 9 compleet; rechts de spoel er van.

In een andere wikkeling (S_5) van de transformator T (fig. 9) wordt de wisselspanning geïnduceerd die op de boven geschetste wijze de regelspanning V_r moet voortbrengen. Het gelijkrichten van deze wisselspanning geschiedt door de dioden die zich in de buis EBC 3 bevinden. Als tegenspanning — die, zoals gezegd, ten doel heeft de regelspanning sterker van de belasting te doen afhangen dan de spanning aan S_5 — doet de spanning over de kathodeweerstand R_1 dienst. Deze spanning wordt opgewekt, deels door de kathodestroom van de buis EBC 3, deels ook door een hulpstroom, die via een weerstand R_2 door R_1 wordt geleid. De regelspanning V_r ten slotte verschijnt aan een weerstand R_3 in de stuurroosterketen van de buis EL 50.

De vijf genoemde spoelen bevinden zich op een ferromagnetische kern van „Ferroxcube"[8]). Dank zij de hoge relatieve permeabiliteit (ca 800) en de geringe verliezen van dit materiaal kunnen de afmetingen van de kern klein blijven, terwijl toch een hoge kringkwaliteit wordt bereikt. Fig. 10 en *fig. 11* laten een vorm van de kern zien die een goede magnetische afscherming waarborgt.

Natuurlijk kan men, bij de hoge spanningen die

Practische uitvoering

Wij zullen nu laten zien hoe de boven beschreven denkbeelden zijn verwezenlijkt in een apparaat dat de kathodestraalbuis van een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld voedt.

Fig. 9 geeft de schakeling van dit voedingstoestel, dat is ontworpen voor een gelijkspanning van 25 kV en een maximale gelijkstroom van 150 μA (dus ruim voldoende voor de in het artikel II beschreven kathodestraalbuis MW 6-2 [7])), terwijl de inwendige weerstand bij kleine belasting 5 MΩ niet te boven gaat.

Links in het schema ziet men een relaxatie-oscillator, met de triode EBC 3. Deze oscillator levert een zaagtandvormige spanning (frequentie ca 1000 per/sec) aan het stuurrooster van een penthode EL 50, in welker anodekring zich een gedeelte van de spoel S_1 bevindt, die als autotransformator (T) dienst doet.

[7]) Dank zij de aanwezigheid van de aanstonds nog te noemen afvlakcondensator kunnen gedurende korte tijd stroomstoten worden geleverd die veel groter zijn dan 150 μA, zonder dat daarbij de gelijkspanning veel daalt.

[8]) J. L. Snoek, Niet-metallisch magnetisch materiaal voor hoge frequenties, Philips techn. T. 8, 353-360, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

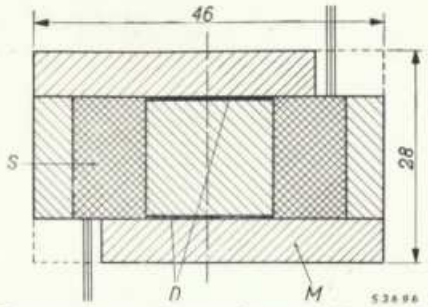


Fig. 11. Doorsnede van de transformator T (vgl. fig. 9 en 10) op ongeveer ware grootte. S = spoel, M = magnetisch circuit, bestaande uit vier stukken „Ferroxcube" en twee luchtspleten D. Maten in mm.

hier optreden, een transformator van zo kleine afmetingen niet in lucht laten werken. Hij is dan ook, tezamen met de drie dioden en de drie cascadecondensatoren (C_1, C_2, C_3), ondergebracht in een metalen doos, die onder vacuum met olie gevuld en vervolgens hermetisch gesloten is.

De verbinding van de positieve pool met de kathodestraalbuis wordt bewerkstelligd door een buigzame kabel met isolatie van polyvinylchloride, een materiaal dat niet alleen een zeer goede isolator is, doch bovendien bestand tegen olie. De buitenzijde van de kabel is voorzien van een geleidende laag, die aan aarde is gelegd. De kabel eindigt in een aansluitstuk, dat past op de anode-aansluiting van de kathodestraalbuis en waarin een serieweerstand van 1 MΩ is ondergebracht. Deze heeft een tweeledig doel. Ten eerste vormt hij met de capaciteit tussen binnen- en buitenbekleedsel van de kathodestraalbuis (ca 300 pF) een afvlakfilter voor de rimpelspanning, en in de tweede plaats beperkt hij de stroomstoot waarmee, bij een eventuele kortsluiting, de cascadecondensatoren zich zouden ontladen. Zonder de weerstand zou dit laatste aanleiding kunnen geven tot ongewenste spanningsgolven.

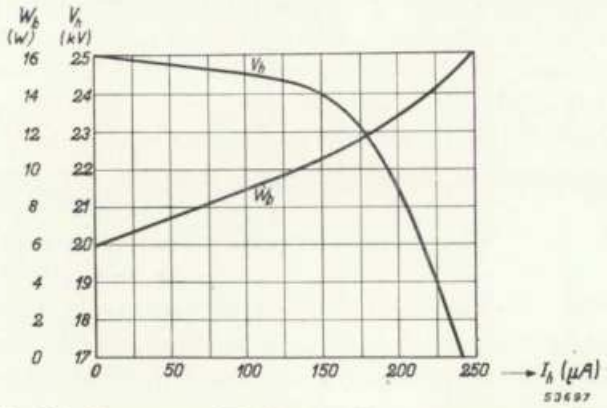


Fig. 12. Afgegeven gelijkspanning V_h en opgenomen gelijkstroomvermogen W_b als functie van de afgegeven gelijkstroom I_h.

In *fig. 12* zijn de afgegeven gelijkspanning V_h en het opgenomen vermogen W_b uitgezet als functie van de afgegeven stroom I_h. Men ziet dat V_h aanvankelijk weinig afneemt als de stroom toeneemt, maar bij $I_h >$ ca 175 μA sterk daalt, en tevens dat W_b (9 W bij 100 μA, 11 W bij 150 μA) zeer gunstig afsteekt bij de waarde die, zoals boven berekend, zonder automatische regeling nodig zou zijn (60 W).

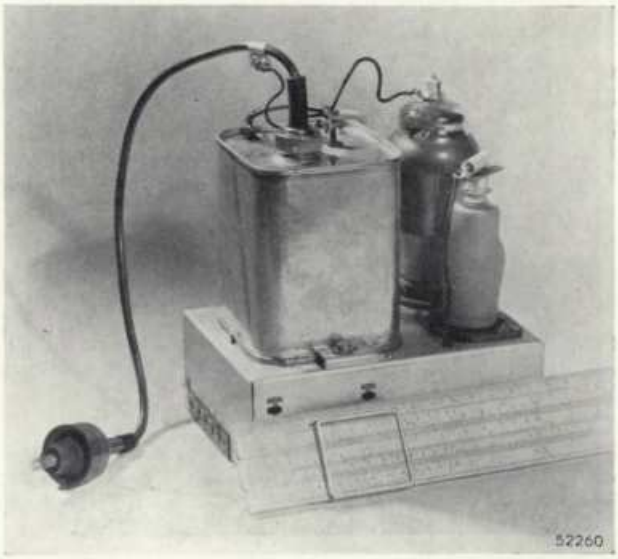


Fig. 13. Het volledige apparaat voor het omzetten van 350 V gelijkspanning in 25 kV gelijkspanning. Rechts de buizen EBC 3 en EL 50, links daarvan de met olie gevulde bus met het gelijkrichtgedeelte. Geheel links de kabel voor aansluiting op de kathodestraalbuis. De hoogte van het apparaat is 18 cm, het grondvlak beslaat 10 cm × 15 cm.

Fig. 13 geeft een beeld van het uiterlijk van het ontwikkelde toestel, waarvan de afmetingen ca 10 cm × 15 cm × 18 cm zijn. Voor de plaats die het tussen de overige onderdelen van een televisieontvangtoestel inneemt, zij verwezen naar fig. 7 van artikel I.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

MULTIPLICATIE VAN CONCERTEN

door R. VERMEULEN. 534.76: 534.86: 785.1

Met behulp van een electro-acoustische installatie zijn in het Concertgebouw te Amsterdam en elders een reeks proeven genomen voor het dupliceren van een normale concertuitvoering in een tweede zaal. De installatie is voorzien van alle verfijningen der transmissietechniek; in het bijzonder is zij ingericht voor stereofonische weergave, al dan niet via de tussenstap van geluidsregistratie; door een nieuw, hier niet nader besproken, systeem van geruisbestrijding kan de dynamiek der oorspronkelijke muziek in volle omvang worden gereproduceerd. De bij de proeven opgedane ervaringen, o.a. verkregen door het houden van een enquête, hebben aangetoond, dat zulk een gedupliceerd concert een muzikaal genot kan schenken dat de belevenis van het originele concert veel beter benadert dan met gramofoon- en radiomuziek in de huiskamer mogelijk is. Op deze wijze zou misschien een oplossing gevonden kunnen worden voor het vraagstuk der overvolle concertzalen, waarmee men thans reeds — en in de toekomst ongetwijfeld in nog hogere mate — in de bevolkingscentra heeft te kampen. Een aantal bijzonderheden van de resultaten die bij de experimenten werden verkregen, worden in dit artikel besproken. Op enkele punten schijnt het mogelijk van een superioriteit der concertcopieën boven het origineel te gewagen. Het belangrijkste uiterlijke verschil tussen origineel en copie, nl. het ontbreken van het visuele contact met de uitvoerende kunstenaars, wordt van verschillende zijden belicht.

Historische ontwikkeling van het concert

Gedurende vele eeuwen der Westerse geschiedenis is de kunst het privilege geweest van koningen en kerkvorsten, van aristocraten die zich de weelde konden veroorloven kunstenaars in hun dienst te houden teneinde in hun paleizen van de scheppingen hunner soms geniale dienaren te genieten. Zo werd ook de muziek — behalve in de kerken — voornamelijk aan de hoven beoefend. Het orkest uit die dagen, bestemd om een klein, select gehoor te boeien, bestond slechts uit een gering aantal musici, vaak gegroepeerd om een door de dirigent bespeeld clavecimbaal.

Wanneer dan na de Franse revolutie en de Amerikaanse vrijheidsoorlogen de maatschappelijke

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

leiding overgaat aan de burgerij, is het natuurlijke gevolg, dat deze ook het patronaat van de kunst overneemt en het gehoor vormt van de musicus. Dan moet het orkest verhuizen van de exclusieve paleiszaal naar de publieke concertzaal, wat noodzaak en mogelijkheid beide schept voor een sterke groei zowel in getal der spelers als in verscheidenheid der instrumenten. De rijkere verscheidenheid van klank en het machtiger geluidsvolume in de grotere zalen — tot dusverre alleen voor het speciale genre van de kerkelijke muziek weggelegd — worden door de componist dankbaar aangegrepen voor het scheppen van nieuwe stijlen.

Over de concert-practijk zoals zij thans geworden is, behoeven we niet veel te zeggen. In elk groot bevolkingscentrum treft men een of meer concertzalen aan, die enige honderden of duizenden zitplaatsen bieden: het Concertgebouw te Amsterdam heeft plaats voor 2000 toehoorders, de Royal Albert Hall te Londen voor 10 000. De ensembles voor zulke grote zalen omvatten gewoonlijk 80 à 120 musici, verdeeld over een twintigtal soorten instrumenten.

De vraag ligt voor de hand, hoe deze ontwikkeling zich zal voortzetten. Ondanks alle verwarring om ons heen valt in onze samenleving een bepaalde tendentie te onderkennen; de voortschrijdende techniek schept middelen waardoor steeds grotere groepen van de bevolking in een zekere welstand kunnen delen. Wil zulk een ontwikkeling niet uitlopen op barbarendom, dan is het zaak dat die welstand niet beperkt blijft tot de materiële voorziening: er zal aan deze mensen ook toegang verschaft moeten worden tot de domeinen van de geest. Tot op zekere hoogte is met het boek daartoe reeds een mogelijkheid geschapen. Voor de muziek geldt evenzeer dat zij voor een steeds groter wordend gehoor zal moeten klinken. De situatie die we voor de toekomst voorzien, en waarvoor men zich bij sommige gelegenheden thans reeds ziet geplaatst, is derhalve deze, dat zelfs de grote concertzalen van tegenwoordig veel te klein zullen zijn om de menigten op te nemen die een concert zullen willen bezoeken.

Problemen van de massa

Twee oplossingen voor het geschetste probleem dienen zich vanzelf aan: het bouwen van meer grote zalen, of het bouwen van nog grotere concertzalen.

Op beide wegen ontmoet men ernstige bezwaren. Laten we de eerste weg beschouwen. Meer zalen, dat betekent meer orkesten. Nu zijn reeds thans de bijdragen der toehoorders meestal niet voldoende om aan de musici een behoorlijk bestaan te verschaffen, en subsidie van de overheid is dus nodig. Het betrekken van grotere bevolkingsgroepen in het concertleven zal, zeker in het begin, gepaard gaan met een daling van de financiële draagkracht — en trouwens ook, maar dat doet hier minder ter zake, van de artistieke draagkracht — van de gemiddelde toehoorder. De nodige subsidies zullen dus méér dan evenredig met het aantal orkesten stijgen. Een ander, meer fundamenteel bezwaar is, dat men een goed samengesteld en geoefend orkest in principe wel zal kunnen dupliceren of multipliceren, maar niet de persoonlijkheid van een begenadigde vertolker. Een symptoom voor deze impasse is het in de laatste tijd herhaaldelijk voorkomende verschijnsel dat door een solist in eenzelfde zaal (bijv. het Concertgebouw te Amsterdam) op twee avonden achtereen precies hetzelfde programma wordt uitgevoerd. Het ligt voor de hand dat het een noodsprong is de kunstenaar aldus „aan de lopende band" te laten werken, en dat men deze noodsprong niet zou maken als men de mogelijkheid had één uitvoering door het dubbele aantal bezoekers te laten bijwonen.

Hierin zou worden voorzien door de tweede in het oog gevatte weg: de grotere zalen. Maar ook dan heeft men het financiële probleem: een grotere zaal vergt in het algemeen een groter orkest, zodat het aantal toehoorders per uitvoerende musicus slechts langzaam zal toenemen. Bovendien vermeerdert de grotere zaal in hoge mate het risico voor de concertgever en is deze oplossing in ieder geval alleen mogelijk in de grote bevolkingscentra; de meer over het land verspreide bevolking wordt er niet mee geholpen [1]). Ten slotte is het zeer de vraag of in de bedoelde zeer grote ruimten nog een bevredigende muziekuitvoering mogelijk blijft; zeker niet van alle soorten muziek.

Het falen van de meest voor de hand liggende „niet-technische" manieren wijst er op dat ook hier de techniek, met name de electro-acoustica, te hulp zal moeten komen en de middelen zal moeten verschaffen om het zoveel uitgebreider publiek te bereiken.

Gramofoon en omroep

De conclusie van de voorgaande paragraaf schijnt enigszins achter de feiten aan te hinken: wat doen gramofoon en radio anders dan pogingen om de muziek naar het grote publiek te brengen? Beide

---

[1]) Als voorbeeld van pogingen, een oplossing in deze richting te vinden, noemen we de openlucht-concerten, zoals zij bijv. sinds 1918 geregeld door de Philharmonic Symphony Society worden gegeven in het Lewisohn Stadium (15 000 zitplaatsen) te New York.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geven inderdaad bepaalde oplossingen voor dit streven, maar op een wijze die essentiële elementen van de belevenis van een concert verloren doen gaan.

Beschouwen we eerst de gramofoon. Zij biedt den enkeling de mogelijkheid om op het daarvoor meest geschikte ogenblik de juist dan gewenste muziek te horen. Zij maakt het verder mogelijk, composities, na zorgvuldige voorbereiding, een enkele maal in alle volmaaktheid die voor mensen bereikbaar is te laten vertolken en de registratie hiervan, gelijk een boek, voor ieder beschikbaar te stellen. Dit lijkt zo aantrekkelijk dat men zelfs zou kunnen menen dat concerten er door overbodig moesten worden. De practijk heeft echter reeds anders bewezen. Het bezoek van concerten is er door de opkomst van de gramofoon niet minder op geworden maar gestaag toegenomen — getuige de actualiteit van het probleem dat we in het voorgaande hebben opgeworpen! De geregistreerde muziek, zelfs al zou zij een volmaakte weergave leveren (dat hieraan bij de thans gewoonlijk gebruikte apparaten nog wel wat ontbreekt, kunnen we dus buiten beschouwing laten), heeft nu eenmaal het nadeel van de verstarring, die onvermijdelijk samengaat met de telkens weer identieke reproductie. In de kunst bestaat er geen volmaaktheid die voor allen en altijd kan gelden, juist het voortdurend herscheppen met telkens andere nuances is een voorwaarde voor het leven van de kunst.

De omroep voorziet in deze behoefte aan een levende, zij het soms minder volmaakte interpretatie. Hij heeft ook nog andere belangrijke eigenschappen, o.a. deze, dat hij muziek in grote verscheidenheid en voor weinig kosten in ieders bereik brengt, en daardoor een uniek middel oplevert ter verspreiding van kennis van de muziekliteratuur. Toch moeten er klaarblijkelijk ook hier oorzaken zijn die de omroep het vermogen ontnemen om concerten overbodig te maken: niet alleen het in stand blijven en zelfs toenemen van het concertbezoek wijst hierop, maar in het bijzonder ook de belangstelling waarin zich de openbare concerten der omroeporkesten zelf mogen verheugen.

Deze oorzaken liggen naar onze mening niet in de technische onvolmaaktheden die de muziekweergave door de radio thans nog aankleven. Gramofoon en radio, in de vorm die thans zo populair is en waarin beide een recht van bestaan in het muziekleven hebben verkregen, zijn niet bij machte het hier gestelde probleem bevredigend op te lossen, doordat de muziekweergave in de huiskamer hier principieel te kort schiet. Zelfs bij technisch „volmaakte" weergave is het onwenselijk, zo niet onmogelijk, de klank van een orkest in zijn volle omvang naar de beperkte ruimte van de huiskamer over te brengen. De dynamische contrasten, die in de concertzaal van essentiële betekenis zijn, moeten voor een kleine ruimte worden vervlakt. Nog belangrijker is misschien, dat men zich in de huiskamer vaak moeilijk aan allerlei hinderlijke invloeden kan onttrekken, terwijl men anderzijds juist de positieve psychologische invloeden mist die in de concertzaal van de omgeving uitgaan. Het gemeenschappelijk beleven van muziek als deel van een massa; het treden buiten de alledaagse omgeving, in een sfeer die op meer of minder gelukkige wijze ondersteund wordt door architectuur, acoustiek en verlichting van de zaal; het contact met de uitvoerende kunstenaars, dat volgens velen, behalve langs auditieve en visuele weg, ook tot stand komt door hun ruimtelijke nabijheid (het „fluïdum" dat van de kunstenaar zou uitgaan); het zijn alle meer of minder essentiële elementen van een concert.

Electro-acoustica in de zaal

De conclusie is dat we de oplossing van ons probleem in de concertzaal zelf moeten trachten te vinden. Het ligt dan voor de hand om de voorheen reeds beschouwde wegen: het bouwen van meer of van grotere zalen, nog eens te betreden en na te gaan of de electro-acoustica de hiertegen geopperde bezwaren niet kan opheffen.

Het is door toepassing van electro-acoustische hulpmiddelen mogelijk een grotere zaal met muziek te vullen zonder vergroting van het orkest. Zowel de normale geluidsversterking van het gehele orkest met microfoons en luidsprekers kan hiervoor worden toegepast, als ook het vergroten van de klank van afzonderlijke instrumenten, bijv. op de wijze als indertijd in dit tijdschrift voor violen werd beschreven [2]), of zoals reeds algemeen voor guitaren wordt toegepast. Toch geloven wij niet dat in het algemeen de oplossing in deze richting moet worden gezocht. Ten eerste blijft het eerder genoemde bezwaar bestaan dat zeer veel van onze tegenwoordige (en vooral oude) concertmuziek zich niet zal lenen voor uitvoering in mammoethzalen. Ten tweede heeft men bij de bedoelde wijze van geluidsversterking te kampen met het gevaar van een terugkoppeling tussen microfoons en luidsprekers, die veelal slechts vermeden kan worden door minder gunstige plaatsing en eigenschappen der microfoons, en met de moeilijkheid van de tijdsverschillen waarmee de geluidsbijdragen van

[2]) R. Vermeulen, Perspectieven voor een ontwikkeling van de viool, Philips techn. T. 5, 40-45, 1940.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de primaire bron (orkest) en van de secundaire bronnen (luidsprekers) bij de luisteraar kunnen aankomen en welke in extreme gevallen zelfs aanleiding geven tot echo-effecten.

Dan de andere mogelijkheid: meer zalen. De electro-acoustische hulpmiddelen maken het hierbij mogelijk te volstaan met één orkest. De principiële moeilijkheid, dat men de beroemde solist niet kan vermenigvuldigen, valt weg. De duplicatie van een concert in een andere zaal, of desgewenst *multiplicatie van een concert voor verscheidene zalen, is bij de huidige stand van de techniek op muzikaal bevredigende wijze mogelijk*. De technische moeilijkheden die zojuist vermeld werden bij de geluidsversterking, heeft men hier niet, doordat in de „dochterzalen" geen orkest aanwezig is. Weliswaar raken wij hiermee aan een zwakke stee: het visuele contact met de musici, dat voor velen een essentieel element van het concert is, ontbreekt hier. Maar bij het alternatief, de mammoethzaal, is het in dit opzicht niet zo heel veel beter gesteld, waar de afstand tussen het podium en het gros der zitplaatsen zeer groot wordt. Overigens komen we op dit punt nog terug.

Een installatie voor multiplicatie van concerten

Ter verwezenlijking van een dergelijke multiplicatie van concerten is in het Philips-Laboratorium te Eindhoven een installatie gebouwd, waarbij aan alle onderdelen bijzondere zorg werd besteed, teneinde technische volmaaktheid zoveel mogelijk te benaderen. Het doel was, de acoustische indruk bij het luisteren in een „dochterzaal" zoveel mogelijk identiek te maken aan die, verkregen in de „moederzaal". Door alle eventuele imperfecties bij deze reproductie tot een minimum terug te brengen, werd het mogelijk experimenten te doen waarin de deugdelijkheid van de grondgedachte zelf op de proef werd gesteld.

De installatie alsmede de eerste experimenten en hun resultaten zullen we in het kort bespreken.

Een algemeen overzicht van de installatie wordt gegeven door de *figuren 1-3*, welker onderschriften ook een aantal bijzonderheden vermelden. De installatie biedt zowel de mogelijkheid voor een gelijktijdige weergave van een concertuitvoering in een of meer andere zalen via telefoonlijnen („simultane duplicatie"), alsook voor de reproductie ervan op een willekeurig tijdstip door middel van een Philips-Miller-fonogram [3]). In beide gevallen geschiedt de weergave stereofonisch [4]). De hoge en de lage tonen worden door afzonderlijke luidsprekers weergegeven. Alleen voor de hoge tonen zijn de kanalen van de twee microfoons in het kunsthoofd tot de luidsprekers gescheiden; voor de lage tonen worden de bijdragen dezer twee microfoons gemengd, daar deze tonen toch niet noemenswaard tot het stereofonisch effect bijdragen. Er zijn dus drie eindversterkers nodig. Het vermogen hiervan is zeer ruim genomen (60 watt elk), hetgeen er toe bijdroeg de niet-lineaire vervorming op doeltreffende wijze te kunnen bestrijden. De frequentiekarakteristiek werd, door geschikte constructie van alle elementen der installatie, vlak gemaakt tot 8000 per/sec. Wat betreft de microfoons, zijn de hiervoor genomen maatregelen onlangs reeds in dit tijdschrift besproken [5]). Bij de Philips-Miller-geluidschrijver kon aan de eisen worden voldaan door een verhoging van de resonantiefrequentie, welke in dit geval o.a. mogelijk werd doordat de maximaal te registreren amplitude bij het voor stereofonie vereiste dubbele spoor slechts de helft van de normale spoorbreedte bedraagt [6]). Ten slotte vermelden wij nog, dat een speciale en doeltreffende methode werd uitgewerkt en toegepast om het ruisen en andere storingen tot een zo laag peil te reduceren dat de dynamiek van de oorspronkelijke uitvoering in haar volle omvang kan worden gereproduceerd zonder dat de luisteraar op hinderlijke wijze aan de in het spel zijnde „techniek" herinnerd wordt. Dit belangrijke element van de installatie hopen we binnenkort in een afzonderlijk artikel in dit tijdschrift nader te beschrijven.

Men zal uit deze beknopte beschrijving gezien hebben, dat hier rekening werd gehouden met vele desiderata die bij de normale muziekreproductie door gramofoon of radio in de huiskamer vooralsnog

[3]) We gebruiken de woorden „fonograferen" en „fonogram" als algemene aanduiding voor het registreren van geluid resp. het geregistreerde. Een fonogram kan dus zowel een gramofoonplaat zijn als een geluidsband, een gemagnetiseerde staaldraad, enz.

[4]) Een algemene uiteenzetting over de bij Philips toegepaste methode van stereofonische weergave vindt men in een artikel van K. de Boer, Philips techn. T. **5**, 112-119, 1940. — In Amerika heeft men reeds geruime tijd geleden proeven gedaan met een enigszins afwijkende vorm van stereofonie. Experimenten van deze aard, die culmineerden in een door Stokowski geleide telefonische duplicatie in een zaal te Washington, D.C., van een te Philadelphia gegeven concert, zijn beschreven in: Bell System Techn. J. **13**, 239-308, 1934 (Symposium on wire transmission of symphonic music and its reproduction in auditory perspective).

[5]) A. Rademakers, Een condensatormicrofoon geschikt voor stereofonie, Philips techn. T. **9**, 330-338, 1947 (No. 11). Zie in dit verband ook: J. J. Zaalberg van Zelst, Een schakeling met laag ruisniveau voor de condensatormicrofoon, Philips techn. T. **9**, 357-363, 1947 (No. 12).

[6]) Over de Philips-Miller-geluidschrijver zie: A. Th. van Urk, Philips techn. T. **1**, 135, 1936. In dat artikel is ook uiteengezet inhoeverre de resonantiefrequentie van de geluidschrijver beperkt wordt door de maximale te registreren amplitude (formule 3). — De toepassing van het Philips-Miller-systeem voor stereofonie is beschreven door K. de Boer in Philips techn. T. **6**, 88, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

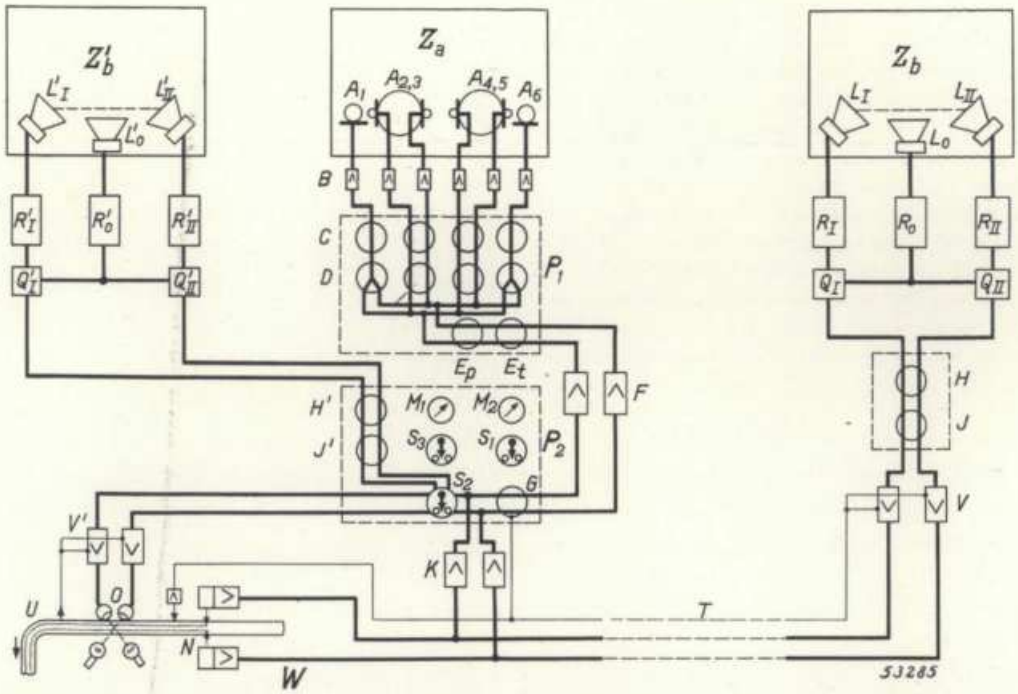


Fig. 1. Schema van de in het Philips-Laboratorium te Eindhoven gebouwde installatie voor duplicatie van concerten. Het geluid van het orkest in de zaal Z_a („moederzaal") wordt opgevangen door een „kunsthoofd" voor stereofonische weergave ($A_{2,3}$), dat twee microfoons bevat. (Op de titelfoto van dit artikel, die een kijkje in het concertgebouw te Amsterdam geeft tijdens een repetitie, ziet men het kunsthoofd links boven hangen.) Bovendien is er op gerekend dat eventueel nog twee enkele microfoons (A_1, A_6) en een tweede kunsthoofd ($A_{4,5}$) worden gebruikt om het geluid van solisten of van een afzonderlijk geplaatste groep musici (of koor) op te vangen. Via zes voorversterkers (B) en kabels worden de spanningen van de zes microfoons naar het mengpaneel P_1 geleid. Hier wordt de sterkteverhouding der twee kanalen van elk kunsthoofd ingesteld (knoppen $D_{2,3}$ en $D_{4,5}$) alsmede de relatieve bijdrage van elk der vier bronnen (A) tot elk der twee resulterende stereofonische kanalen geregeld (knoppen C, alsmede D_1, D_6). Bovendien kunnen de laagste tonen, in beide kanalen tegelijk, worden opgehaald (knop E_p) en kan de totale sterkte worden gevarieerd (knop E_t). Via tussenversterkers (F) gaan de signalen dan naar het regelpaneel P_2, en vervolgens via lijnversterkers (K) hetzij naar een telefoonlijn (T) die het concert naar zaal Z_b („dochterzaal") overbrengt, hetzij naar een Philips-Miller-apparatuur W. Bij directe weergave in de dochterzaal worden de signalen, na hernieuwde versterking (V), regeling van de sterkte (knop H) en van de onderlinge verhouding (knop J) der twee stereofonische kanalen, toegevoerd aan de filters Q_I en Q_{II}. Deze scheiden hoge en lage tonen. De hoge tonen worden via de eindversterkers R_I en R_{II} naar de luidsprekers L_I, L_{II} gevoerd. Tussen deze beide, op een geschikte onderlinge afstand opgestelde luidsprekers ontstaat het stereofonische geluidsbeeld. De lage tonen van beide kanalen worden samengevoegd en na versterking in R_0 weergegeven door de luidspreker L_0 midden tussen L_I en L_{II}.

Kiest men de andere mogelijkheid: het maken van een fonogram, dan worden de uitgangssignalen van de lijnversterkers K toegevoerd aan de twee Philips-Miller-geluidschrijvers (N), die het stereofonische geluidspoor in de band (U) graveren. Het gefonografeerde geluid wordt ter contrôle vrijwel onmiddellijk daarna in de zaal Z_b' weergegeven. De band passeert nl. direct achter de schrijvers de dubbele optische aftastinrichting O. Het hier verwekte signaal wordt versterkt door V', in het regelpaneel weer geregeld (H' en J') en dan via filters en eindversterkers Q' en R' aan de luidsprekers L' toegevoegd. De leider van de opneming, die zich met de panelen P_1 en P_2 in de contrôlezaal Z_b' bevindt, hoort dus direct het resultaat van de menging en de verdere bewerkingen.

Met een potentiometerknop (G) op het regelpaneel kan de leider, aan de hand van een vóór hem liggende partituur, de totale versterking voor ophanden zijnde luide passages verminderen en voor zachte passages vergroten, om bij het registreren (of uitzenden via telefoonlijnen) overbelasting der versterkers resp. storing door ruisen enz. te vermijden. De aldus verminderde (gecomprimeerde) dynamiek der muziek wordt bij de weergave ten volle hersteld, doordat de stand van de potentiometerknop door afzonderlijke signalen naar de dochterzaal wordt overgeseind, resp. op de geluidsband wordt geregistreerd; deze signalen wijzigen automatisch de versterking van V (resp. bij het aftasten van de geluidsband: die van V') voortdurend precies in tegenovergestelde zin als door G geschiedde. De verbindingen hiervoor zijn in het schema door een dunne lijn aangegeven.

Op het regelpaneel bevinden zich nog twee modulatiemeters M_1, M_2, welke ter contrôle op verschillende punten van het circuit kunnen worden aangesloten (schakelaar S_1). Met S_2 kan de contrôlezaal Z_b' (Q', R', L') direct op het van het mengpaneel komende signaal worden aangesloten, voor contrôle van de menging bij directe uitzending over telefoonlijnen, of voor onmiddellijke vergelijking van dit signaal met de reproductie van een fonogram. Voor experimenten kunnen met S_3 nog verschillende filters worden ingeschakeld.

---

tot de vrome wensen moeten behoren (zelfs bij toepassing van frequentiemodulatie). Voor weergave in een zaal zal de toepassing van de genoemde uitgebreide hulpmiddelen echter volstrekt niet beperkt behoeven te blijven tot een modelinstallatie als die ons voor ogen stond. Bij de reproductie voor het grote publiek in een zaal zijn immers de kosten relatief minder belangrijk, zodat voor dit doel de beschreven installatie zonder bezwaar als een prototype kan worden gezien.

Bij de keuze van de bovenste frequentiegrens, 8000 per/sec, is een toelichting gewenst. Er is gedurende de laatste jaren een controverse gaande over de vraag of het publiek het weergeven van het frequentiegebied boven 4000 of 5000 per/sec waardeert,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dan wel deze hoge tonen liever mist, zelfs bij het direct luisteren naar muziek. Uit onze eigen experimenten hebben wij de indruk gekregen dat het gehoor bijzonder gevoelig is voor fouten in dit frequentiegebied, zowel wat betreft niet-lineaire vervorming als de juiste sterkteverhoudingen. Weglaten van het frequentiegebied boven 4000-5000 per/sec is waarschijnlijk te prefereren boven een onjuiste weergave. Maar het valt niet te ontkennen dat juist de genoemde hoge tonen aan de muziek leven en karakter verlenen en den toehoorder een gevoel van frisheid en bevrijding geven. Dit gaf voor ons de doorslag om de frequentiegrens bij 8000 per/sec te leggen. Nog hoger gaan brengt voor de muziek geen noemenswaardige winst meer, terwijl de te overwinnen moeilijkheden, o.a. door geruisstoringen, onevenredig toenemen.

van zijn opmerkingen te verbeteren. Eén keer hebben wij een concert dat in de Grote Zaal werd gegeven (het stond onder leiding van Paul Hindemith)) „simultaan gedupliceerd" in de Kleine Zaal van het Concertgebouw. Hier waren een aantal genodigden aanwezig, van wie een veertigtal (14 beroepsmusici en 27 leken) door invulling van een vragenlijst hun mening over deze manier van muziek-reproductie te kennen gaven. Ten slotte werden enige concerten op dezelfde wijze gedupliceerd in de studio van de Electro-acoustische Afdeling (ELA) der Philips-fabrieken te Eindhoven;

Fig. 2. Meng- en regelpaneel tijdens een opneming. Het mengen en het „comprimeren" geschiedt aan de hand van de partituur, volgens de ervaringen bij voorafgaande repetities van het stuk opgedaan. Op de panelen zijn de bij fig. 1 vermelde bedieningsknoppen gemakkelijk te identificeren. Bovendien ziet men enige stekerbussen, waarop allerlei meters, een telefoon en een communicatiemicrofoon (bijv. voor het contact met de dirigent) kunnen worden aangesloten.

Experimenten en resultaten

Na een aantal voorlopige proeven te Eindhoven werd de beschreven installatie opgesteld in het Concertgebouw te Amsterdam. Hier werden een reeks concerten van het Concertgebouw-orkest „gemultipliceerd". De voornaamste proeven werden gedaan met fonograferen en vervolgens in een bovenzaal van het gebouw weergeven van uitvoeringen. Het eerste der aldus gereproduceerde concerten stond onder leiding van Leopold Stokowski, waarbij wij het voorrecht hadden reeds tijdens de repetities gemaakte proef-fonogrammen aan zijn oordeel te kunnen onderwerpen en naar aanleiding hierbij werd de muziek van Amsterdam naar Eindhoven overgebracht via speciale, voor muziekoverdracht geschikte, telefoonlijnen [7]).

De belangrijkste resultaten en ervaringen die bij

[7]) Op deze plaats moge onze erkentelijkheid tot uitdrukking worden gebracht voor de belangstelling die Stokowski voor onze proeven heeft getoond en voor de vruchtbare besprekingen die wij met hem mochten hebben. — Aan de Directie van het Concertgebouw, het orkest en vooral ook aan zijn dirigent Eduard van Beinum zijn wij dank verschuldigd voor de welwillend verleende medewerking. — Eveneens zij hier onze dank uitgesproken voor de bijzondere zorg, door de Rijksdienst der P.T.T. besteed aan de lijnoverdracht bij de duplicaties der Amsterdamse concerten in Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 3. De Philips-Miller-machine met een gedeelte der versterker-rekken enz., die opgesteld werden in het Concertgebouw te Amsterdam.

deze proefnemingen werden verkregen, kunnen we als volgt samenvatten.

Vrijwel allen die in de gelegenheid werden gesteld naar een duplicaat-concert te luisteren, achtten het mogelijk den toehoorder op deze wijze een muzikaal genot te verschaffen van veel hoger gehalte dan bij het luisteren naar een omroep-uitzending, en in zekere mate vergelijkbaar met dat van de originele uitvoering. In het bijzonder werd bij de bovenvermelde enquête de vraag, hoe men de weergave van de orkestklank als zodanig vond, door 85% met „goed" en slechts door 15% met „matig" beantwoord. Wij leggen hier de nadruk op het „als zodanig", omdat de algemenere vraag of het mogelijk werd geoordeeld op deze wijze van muziek te genieten — waarbij dus niet het streven om het orkest getrouw te dupliceren als criterium diende — zelfs door 95% der oordelenden in positieve zin werd beantwoord.

De ruimtelijke werking van de stereofonie werd algemeen als een grote verbetering gevoeld. Daarbij is naar onze mening de belangrijkste verbetering niet gelegen in het kunnen waarnemen van de richting van de geluidsbronnen of het volgen van deze voor het geval dat zij zich bewegen, maar in de mogelijkheid de instrumenten met hun verschillende klank te onderkennen, en ook de nagalm en eventuele storende geluiden gescheiden te kunnen horen. Dit werd duidelijk bevestigd door de enquête in de Kleine Zaal van het Concertgebouw. In deze zaal was het ten gevolge van de eigenaardige onsymmetrische bouw niet te vermijden dat voor vele plaatsen vervormingen in de stereofonische „afbeelding" van het uitvoerende orkest optraden [8]). Toch werd de waarde van de stereofonie in 95% der binnengekomen antwoordformulieren positief beoordeeld.

---

[8]) De plattegrond van de zaal is ovaal, met aan een zijde een podium, aan de andere een klein balcon. De ene lange wand is voorzien van hoge ramen die met zware gordijnen waren gesloten, terwijl de andere lange wand geprofileerd doch acoustisch hard is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

We kregen de indruk dat de instelling van het geluidsniveau der reproductie in een bepaalde zaal tamelijk critisch is. Reeds bij afwijkingen van 3 db ten opzichte van het „gunstigste" niveau schijnt de beoordeling minder waarderend te worden. Dit is weliswaar een kwestie van statistiek. Bij de enquête in de Kleine Zaal zeiden 11% dat de weergave te luid, 78% dat zij goed, 11% dat zij te zacht was; waaruit wij dan concludeerden dat wij ten naaste bij het gunstigste niveau hadden ingesteld.

Een merkwaardige ervaring was, dat de regelende technicus bij de duplicatie steeds de neiging heeft de lage tonen sterker naar voren te laten komen dan zij bij de oorspronkelijke uitvoering optreden. Dit kon door afwisselend luisteren naar het originele concert en de copie telkens weer worden vastgesteld. Merkwaardig noemen we deze ervaring, omdat het overdrijven der lage tonen weliswaar een afwijking betekent van het vooropgestelde doel: de zo getrouw mogelijke nabootsing van de klankindruk der originele uitvoering, maar dan een afwijking die van muzikaal standpunt misschien niet ongerechtvaardigd is. Stokowski heeft eens de uitspraak gedaan: „It is one of the greatest shortcomings of the orchestra that the deepest tones are relatively weak and so do not balance the middle and higher tones" [9]). Dit tekortschieten is physisch heel goed te begrijpen: enerzijds is de oorgevoeligheid van de mens in het gebied der lage tonen veel geringer dan in het frequentiegebied van bijv. 1000-2000 per/sec; anderzijds hebben onze gebruikelijke geluidsbronnen (als we afzien van orgelpijpen) ten gevolge van hun beperkte afmetingen een slechts betrekkelijk geringe stralingsweerstand voor lage tonen [10]). Dat men op de normale wijze, nl. door het bijplaatsen van meer basinstrumenten, de moeilijkheid niet goed kan oplossen, beseft men als men voor ogen houdt dat een vermeerdering van het aantal bassisten van 8 op 16 nog slechts een winst van 3 db in de sterkte van hun partij betekent. Met de „verbetering" van de orkestmuziek die in dit opzicht (en wellicht nog in andere) mogelijk wordt door de electro-acoustica, doemen toekomstmogelijkheden op die de technicus slechts met grote schroom aan de orde mag stellen.

Bij de meermalen aangehaalde enquête in de Kleine Zaal van het Concertgebouw werd als laatste de vraag gesteld, of de niet-aanwezigheid van het orkest bij het gedupliceerde concert als een gemis werd gevoeld. De antwoorden hierop waren ongeveer gelijk verdeeld: 39% ja, 41% neen, en 10% vonden het niet-zien van het orkest zelfs een voordeel! Opvallend was daarbij dat slechts 21% van de beroepsmusici onder het gehoor met „ja" antwoordden. Dit wijst in de richting, dat scholing in de muziek het beter mogelijk maakt zich uitsluitend op de geluidsindruk te concentreren, terwijl het voor andere, niet speciaal geschoolde, toehoorders wenselijk schijnt te zijn een rustpunt voor het oog te scheppen. Bij het experiment in de Kleine Zaal van het Concertgebouw was het podium afgesloten met een dun wit gordijn, waarachter de luidsprekers waren opgesteld. Een natuurlijke fixering voor het oog ontbrak hier. Het zal waarschijnlijk een der belangrijkste problemen van de multiplicatie van concerten zijn, een dergelijke fixering te scheppen zonder dat de visuele indrukken de toehoorder afleiden. Het ligt voor de hand op dit punt uitkomst te verwachten van de televisie, die het immers mogelijk maakt ook het visuele beeld van het uitvoerende orkest naar de dochterzaal over te brengen. Wij vragen ons echter af of dit zin heeft. Is het aanschouwen van een verzameling zwoegende musici werkelijk de meest geschikte ondersteuning voor de muzikale genieting? Zouden we niet liever van de nood een deugd maken en, nu we de kans er toe hebben, een „beter" rustpunt voor het oog trachten te vinden?

Een eenvoudige oplossing, die het probleem omzeilt maar die in de meeste gevallen wel onaanvaardbaar zal worden geacht, bestaat in het geheel verduisteren van de dochterzaal. Bij de concertduplicaties in Eindhoven hebben wij dit beproefd en het algemene oordeel was dat daardoor de muziek beter tot haar recht kwam. Afgezien van de rust, die aan het tevergeefs zoekende oog wordt gegeven, kan het verduisteren ook de gunstige uitwerking hebben dat een onbewust conflict tussen acoustische en visuele indruk van de zaal wordt weggenomen. Hoe reëel die acoustische indruk zijn kan, blijkt uit het bekende feit dat blinden op het gehoor de grootte en de aard van de ruimte waar zij binnentreden vrij nauwkeurig kunnen schatten. Veelal zal een dochterzaal kleiner zijn dan de moederzaal, bijv. als wij ons het geval voorstellen dat de uitvoering van een belangrijk concert in de hoofdstad des lands door duplicaat-concerten in de provincie meebeleefd wordt. Maakt men de zaal geheel donker, dan verdwijnt de visuele indruk, de wanden van de zaal vallen als het ware weg en men krijgt de indruk dat men zich in een grotere ruimte bevindt: de moederzaal, die haar stempel op de weergegeven muziek heeft gedrukt.

[9]) „Het is een der grootste tekortkomingen van het orkest, dat de lage tonen betrekkelijk zwak zijn en derhalve geen voldoende tegenwicht vormen voor de middelste en de hoge tonen". Leopold Stokowski, Music for all of us, Simon & Schuster, New York 1943, p. 189.

[10]) Zie bijv. A. Th. van Urk en R. Vermeulen, Straling van geluid, Philips techn. T. 4, 225-234, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In dit verband kan er op worden gewezen dat aan de acoustische eigenschappen van de dochterzaal geringere eisen worden gesteld dan aan de moederzaal. In deze laatste wordt de verdeling van de geluidsintensiteit bepaald door allerlei reflecties aan plafond en wanden, en zelfs bij een „goede" zaal is het niet te vermijden dat er behalve goede ook minder goede zitplaatsen zijn. In de dochterzaal daarentegen kan men door passend opstellen en richten van de luidsprekers er voor zorgen, dat het publiek gelijkmatig wordt bestreken, zonder dat de zaalwanden daartoe behoeven mee te helpen (zij kunnen, als men hierbij het visuele conflict maar weet te vermijden, het best sterk geluidabsorberend worden gemaakt). Elke luisteraar in de dochterzaal hoort het orkest dus vrijwel even goed als de microfoons het horen — en die krijgen in de moederzaal natuurlijk de beste plaatsen, zodat in de dochterzaal als het ware iedereen eerste rang zit of zelfs nog beter. Of het hierdoor kwam of door de verbeterde lage tonen, durven wij niet te zeggen, maar bij de proeven werd enkele malen de opmerking gehoord dat bepaalde passages en instrumenten in de concertcopie beter tot hun recht kwamen dan in het origineel.

Slotopmerkingen

Er heerst bij velen een diepgeworteld besef dat kunst een zodanig esoterisch karakter bezit, dat de technische hulpmiddelen die men moet gebruiken om haar tot het grote publiek te brengen het wezen zelf van de kunst dreigen te veranderen. Toegegeven dat dit zo is: wie zal voorspellen of de verandering een aantasting en verschrompeling, dan wel juist een ontplooiing zal meebrengen? De troubadour, die oude mythe en nieuw epos bracht aan de ridders in hun burchten, verloor na de uitvinding van de boekdrukkunst veel van zijn betekenis. Maar niemand zal — zelfs bij de vele minderwaardige lectuur tot welker verspreiding de boekdrukkunst heeft geleid — willen beweren dat de druktechniek een schadelijke invloed op de Westerse cultuur heeft gehad. Voor de muziek vinden wij evenzeer de verwachting gewettigd dat de toepassing van de nieuwe technische middelen geen hinderpaal zal zijn voor het bereiken van nieuwe, onvermoede hoogtepunten. Ja, misschien geven deze nieuwe middelen zelfs de aanleiding daartoe. De in dit artikel uitgestippelde ontwikkeling was in eerste instantie gericht op een zo getrouw mogelijke reproductie van het reeds lang vertrouwde klankbeeld van een concert. Iets anders kan de technicus ook niet als zijn taak beschouwen. Het is echter denkbaar, dat die beperkte doelstelling losgelaten zal worden, zodra de kunstenaar ziet dat hij de gegeven technische middelen, die het orkest uit zijn traditionele banden bevrijden, kan gebruiken om geheel nieuwe muzikale indrukken te scheppen. Met deze toekomstmuziek, in letterlijke zin, mogen we deze beschouwingen besluiten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

GRONDSLAGEN VOOR HET OPSTELLEN VAN VERLICHTINGSNORMEN

door A. A. KRUITHOF en A. M. KRUITHOF. 535.241.46:535.736

Gebruik makend van proeven van H. C. Weston stellen de schrijvers een tabel op waaruit voor elke te verrichten visuele taak, gekarakteriseerd door contrast en gezichtshoek van het waar te nemen detail, kan worden afgeleid welke verlichtingssterkte nodig is om een bepaalde mate van uitvoerbaarheid van de taak te waarborgen. Als maat voor de uitvoerbaarheid (voor zover het gezichtsvermogen er bij betrokken is) dient de „relatieve prestatie". De getalwaarden hiervan kunnen in de plaats treden van meer gebruikelijke kwalificaties van verlichtingsniveaus, zoals „voldoende", „goed", enz. De genoemde tabel kan als grondslag dienen, als men, rekening houdend met economische en technische (en eventueel nog bijkomstige) gezichtspunten, normen voor te kiezen verlichtingsniveaus wil geven.

Physiologische zijde en economische zijde van het probleem

Als men een verlichtingsinstallatie gaat ontwerpen, zal men enerzijds een inzicht moeten hebben in de wijze waarop de functie van het zien wordt beïnvloed door de aard van de verlichting: de verdeling van het licht, de kleur, eventuele verblinding, enz.; anderzijds zal men moeten weten welk niveau van verlichting voor het beoogde doel dient te worden gekozen. Met het laatstgenoemde probleem: het opstellen van normen voor de keuze van het verlichtingsniveau, zullen we ons in dit artikel bezig houden.

De overwegingen die tot verlichtingsnormen leiden, zijn ten dele van physiologische, ten dele van economische (en technische) aard. Het physiologische probleem bestaat in het afleiden van een waarderingsschaal voor het verlichtingsniveau. Primitief uitgedrukt, heeft men hierbij te maken met de vraag aan welk niveau men, enkel uit een oogpunt van het kunnen zien, appreciaties als „zeer goed", „goed", „voldoende" enz. moet verbinden. Alleen deze physiologische kant van de zaak zullen we in dit artikel behandelen. Het economische probleem laat zich gelden zodra we ons afvragen, of we voor een gegeven geval, bijv. in een bepaald land, lettend o.a. op de electriciteitstarieven, het „zeer goede" dan wel het „goede" of „voldoende" verlichtingsniveau als wenselijk moeten beschouwen („onvoldoende" niveaus mogen we gevoegelijk uitsluiten). Wat deze economische zijde van het vraagstuk betreft, worden er door verschillende deskundigen diametraal tegenovergestelde zienswijzen verdedigd. Een voor de hand liggende opvatting is, dat rijke volken (of individuen) zich een zeer goede en dus dure verlichting kunnen veroorloven, en dat arme volken met minder goede verlichtingen tevreden moeten zijn. Daartegenover wordt echter ook wel betoogd dat arme volken verliezen bij het productieproces het slechtst kunnen verdragen en daarom de best mogelijke verlichtingen moeten toepassen, terwijl rijke volken in dit opzicht wat slordiger zouden kunnen zijn. We vermelden deze argumenten, niet om er over in discussie te treden, maar om te illustreren dat het toepassen van de hier te behandelen physiologische grondslagen (de waarderingsschaal) een onderwerp op zichzelf vormt.

De visuele taak en haar uitvoerbaarheid

We zullen een verlichtingsniveau „goed" noemen indien een gegeven taak bij die verlichting goed uitvoerbaar is.

Hoewel we met deze globale bewering nog wel zeer ver van ons doel af zijn, toont zij toch dadelijk de weg die we zullen volgen. De waardering van een bepaald verlichtingsniveau zal afhangen van de taak die men er bij moet verrichten. We zullen dus, ten einde de op te stellen waarderingsschaal op elke willekeurige taak te kunnen toepassen en om door verschillende onderzoekers opgestelde schalen te kunnen vergelijken, een maat voor de moeilijkheid van een taak moeten bezitten. Vervolgens zal als maatstaf voor de waardering dienen de uitvoerbaarheid van de taak, en ook hiervoor is dus een kwantitatieve maat vereist. Door experimenten moet dan de invloed van de verlichting op de „mate van uitvoerbaarheid" van diverse taken worden onderzocht, en ten slotte moet een waarderingsnorm hiervoor worden gegeven.

Voorbeelden voor uiteenlopende visuele taken zijn: het lezen van een boek, het maken van tekeningen, het aflezen van meetinstrumenten, het bedienen van een rekenmachine, naaiwerk, grof en fijn montagewerk in fabrieken. Om de moeilijkheid van zulke taken in cijfers uit te drukken, karakteriseert men een taak door bepaalde, voor meting vatbare, kenmerken. Zeer geschikt zijn hiervoor:

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

1) de grootte van het waar te nemen detail. Deze grootte wordt gemeten door de gezichtshoek in boogminuten; een hoek van 1′ correspondeert met 0,1 mm, gezien op 30 cm afstand. Het is nuttig de practisch voorkomende detailgrootten in enkele trappen samen te vatten. We doen dit op de wijze als aangegeven in *tabel I*.

Tabel I. Grootte van het detail dat bij verschillende soorten werk moet kunnen worden waargenomen.

Classificatie van het soort werk	Detailgrootte d	
	gebied	gemiddeld
grof	$> 4{,}5'$	ca 6′
normaal	2,2′ - 4,5′	ca 3′
fijn	1,2′ - 2,2′	ca 1,5′
zeer fijn	0,5′ - 1,2′	ca 1′

2) het contrast van het waar te nemen detail ten opzichte van de achtergrond. Dit is gedefinieerd door $c = (B_1 - B_2)/B_1$, waarin B_1 de helderheid van de achtergrond, B_2 die van het (minder helder onderstelde) detail is. We vatten eenvoudigheidshalve ook alle voorkomende contrasten in vier trappen samen, volgens *tabel II*.

Tabel II. Classificatie van het contrast c tussen detail en achtergrond.

Classificatie	Grootte van contrast c	
	gebied	gemiddeld
goed	0,6 - 1,0	0,8
middelmatig	0,3 - 0,6	0,4
slecht	0,15 - 0,3	0,2
zeer slecht	$< 0{,}15$	0,1

Wat de invloed van de verlichting betreft, is in feite voor de waarneming niet de (in lux gemeten) verlichtingssterkte bepalend, doch het helderheidsniveau, dat behalve van de verlichtingssterkte nog afhangt van de reflectiecoëfficient van de achtergrond. Het is voor beschouwingen als in dit artikel gebruikelijk, één bepaalde reflectiecoëfficient hiervoor aan te nemen; we zullen hier de waarde 0,9 kiezen. *Hierop hebben dus alle verder te noemen verlichtingssterkten betrekking.* Voor taken waarbij de achtergrond een kleinere reflectiecoëfficient bezit, moeten de verlichtingssterkten in de verhouding dezer reflectiecoëfficienten groter genomen worden.

Wat de uitvoerbaarheid van de taak betreft, hiervoor zijn door verschillende onderzoekers verschillende grootheden als maatstaf gebruikt. Luckiesh en Moss [1]) en Waller [2]) hebben zekere factoren genomen die aangeven hoe „ver" de taak boven de (op verschillende manieren gerealiseerde) drempel van de waarneming ligt. Men kan ook trachten de vermoeidheid na een gegeven waarnemingsperiode als maat voor de uitvoerbaarheid te gebruiken, zoals in een vroeger artikel in dit tijdschrift is besproken [3]). In onderzoekingen van Weston is als maatstaf genomen de tijd, nodig voor een waarneming, in combinatie met het percentage fouten dat wordt gemaakt [4]).

De keuze van Weston komt ons aantrekkelijk voor omdat het hier goed meetbare grootheden betreft, die tevens als practische maatstaf voor het beoordelen van de uitvoering van een taak zeer voor de hand liggen. In de volgende beschouwingen wordt dan ook van de experimenten van Weston uitgegaan.

Voor een helder begrip van de zaak is het gewenst er op te wijzen, dat de kenmerken van detailgrootte en contrast niet voldoende zijn om een taak volledig te karakteriseren. Men zal er in het algemeen ook bij in aanmerking moeten nemen gedurende welke periode de waarnemingen moeten worden verricht, of deze periode door rust- of wachttijden onderbroken is, of een zekere verantwoordelijkheid aan het verrichten van de taak verbonden is, enz. Bij een tabel van aan te bevelen verlichtingsniveaus, die op grond van proeven aan een waarnemingsobject met variërende detailgrootte en contrast is opgesteld, moet daarom vermeld zijn hoe de bovengenoemde omstandigheden waren gekozen. Raadpleegt men de tabel om de voor een beoogde taak gewenste verlichting te weten te komen, dan zal men eventuele afwijkingen van de vermelde omstandigheden zo goed mogelijk door (positieve of negatieve) toeslagen bij de aanbevolen verlichtingssterkte in rekening moeten brengen.

Een andere gezichtspunt is, dat men de kenmerken voor de taak en die voor de uitvoerbaarheid, op de keper beschouwd, niet goed van elkaar kan scheiden. Immers, de kenmerken van een taak zijn bedoeld als maat voor de moeilijkheid, en het lijkt tamelijk zinledig een onderscheid te willen maken tussen een maat voor de moeilijkheid en een maat voor de uitvoerbaarheid van een taak. De betekenis van dit onderscheid is dan ook alleen dat men het eerste gegeven als onafhankelijke, het laatste als afhankelijke variabele beschouwt (en het verlichtingsniveau als parameter). Men ziet dit vooral duidelijk bij de waarnemingstijd (waarnemingssnelheid), die in het onder [3]) aangehaalde artikel als kenmerk van de taak werd geïntroduceerd, terwijl hij bij Weston als kenmerk van de uitvoering er van dient.

Metingen van Weston; de begrippen prestatie en relatieve prestatie

Bij de proeven van Weston moest de waarnemer kaarten met een groot aantal willekeurig

[1]) M. Luckiesh en F. K. Moss, Visibility, its measurement and importance in seeing, J. Frankl. Inst. **220**, 431-466, 1935.

[2]) A. Waller, Zichtbaarheid, diss. Utrecht 1945.

[3]) A. A. Kruithof en H. Zijl, De verlichtingssterkte in kantoren en woonruimten, Philips techn. T. **8**, 242-248, 1946. De aldaar gegeven beschouwingen over het optreden van vermoeidheid waren in hoofdzaak gebaseerd op metingen van M. Luckiesh en F. K. Moss, Trans. Ill. Eng. Soc. **34**, 571, 1939; **35**, 19 en 703, 1940.

[4]) H. C. Weston, Industrial Health Research Report No. 87, H. M. Stationery Office, London 1945.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

georienteerde open ringen (ringen van Landolt) bekijken; zie *fig. 1*. De taak bestond uit het herkennen en doorstrepen op elke kaart van de ringen met een bepaalde orientatie. Het waar te nemen

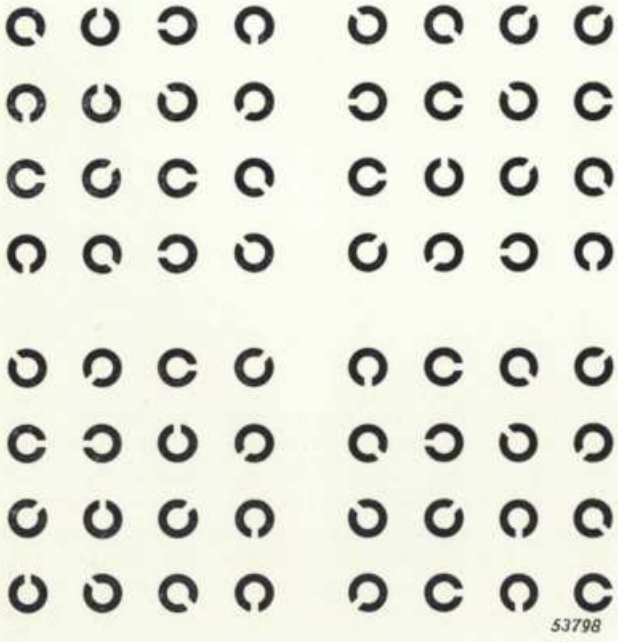


Fig. 1. Gedeelte van een der kaarten met ringen volgens Landolt, die door Weston voor zijn proeven werden gebruikt. De diameter van de ringen — en daarmee de grootte van de ringopening, d.i. het waar te nemen detail — varieert van kaart tot kaart. Hetzelfde geldt voor het contrast, dat bepaald is door het verschil in reflectiecoëfficient van de ringen en van het papier waarop zij gedrukt zijn. Er zijn 8 verschillende orientaties van de opening gebruikt. De waarnemers moesten de ringen met een bepaalde orientatie doorstrepen. Zij mochten per waarneming zoveel tijd gebruiken als zij meenden nodig te hebben. Deze tijd, gecombineerd met het percentage over het hoofd geziene ringen, diende als maatstaf voor de „prestatie". De waarnemingen hadden plaats in korte series van 1 minuut lengte, afgewisseld met korte rustpauzen van ongeveer een halve minuut, bij een totale werkperiode van $1^3/_4$ uur.

detail — de opening van de ringen — heeft op elke kaart een bepaalde grootte en een bepaald contrast. Als maat voor de uitvoerbaarheid van de taak nam Weston *het quotient van de nauwkeurigheid die de waarnemer behaalde* (d.i. de verhouding van het aantal aangestreepte tot het aantal aanwezige ringen met de gewenste orientatie) *en de tijd die hij nodig had voor het bepalen van de stand van een ring*[5]). Het genoemde quotient duidde Weston aan als prestatie. Hij mat de gemiddelde prestatie van een aantal waarnemers, als functie van het verlichtingsniveau, voor enige verschillende waarden van detailgrootte en contrast. Een deel van zijn resultaten is weergegeven in *fig. 2*.

Daarmee is in principe de invloed van de verlichting op de uitvoerbaarheid van de taak bekend; het is vervolgens nodig een norm voor de waardering te geven. Weston voerde hiertoe het begrip „relatieve prestatie" in. De krommen in fig. 2, die ieder voor een bepaalde taak gelden, lopen niet ongelimiteerd op, maar gaan bij zeer hoge verlichtingsniveaus (> ca 20 000 lux) weer dalen, doordat verblinding optreedt. Voor elke taak bestaat er dus een maximale prestatie. De relatieve prestatie is de verhouding tussen de geleverde prestatie en de voor de gegeven taak maximaal mogelijke prestatie. Onze appreciatie van een verlichtingsniveau zal hoger moeten zijn naarmate hierbij de maximale prestatie voor de gegeven taak dichter wordt benaderd, dwz. naarmate een dichter bij de waarde 1 gelegen relatieve prestatie wordt verkregen. De te stellen norm zal dus de waarderingen „voldoende", „goed", enz. met het bereiken van bepaalde relatieve prestaties moeten verbinden. Op dit punt komen we aanstonds terug.

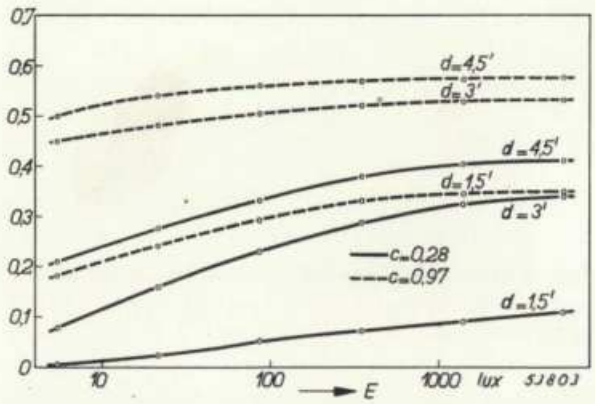


Fig. 2. Prestatie als functie van de verlichtingssterkte E in lux, volgens Weston. Elke kromme geldt voor een bepaalde taak, dwz. bepaalde detailgrootte d en contrast c. (Bij de proeven van Weston was voor elke contrastwaarde de reflectiecoëfficient van de achtergrond, d.i. het papier der kaarten met ringen, verschillend; in verband met de in de vorige paragraaf gemaakte opmerking hebben we de door Weston opgegeven verlichtingssterkten omgerekend voor een constante reflectiecoëfficient van 0,9.)

[5]) Voor het uitvoeren van een taak is in het algemeen nodig een waarneming plus een daaropvolgende actie (in casu het doorstrepen van de goed bevonden ring). Beide fasen vereisen een zekere tijd, en in beide kunnen fouten worden gemaakt. Om een zuivere maat voor de werking van het gezichtsvermogen te verkrijgen — waarom het ons immers begonnen is —, mogen de fouten en de tijd die op rekening van de actie te schrijven zijn, niet worden meegeteld. Hiertoe heeft Weston de tijd, nodig voor de handeling van het doorstrepen van een ring, afzonderlijk bepaald en van de totale benodigde tijd afgetrokken. De gekozen taak is zo eenvoudig — dit was juist een der redenen voor haar keuze —, dat een correctie voor fouten in de actie niet nodig was; immers een verkeerde uitvoering van de taak kan hier alleen betekenen het niet aanstrepen van een ring (het ten onrechte aanstrepen van verkeerd georienteerde ringen, waarbij men niet zou weten of de fout aan de waarneming dan wel aan de actie te wijten is, bleek slechts zo zelden voor te komen dat het kon worden verwaarloosd).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Verwerking van de gegevens van Weston tot een verlichtingstabel

In metingen zoals door Weston werden verricht, is een zekere spreiding van de uitkomsten onvermijdelijk, zelfs al wordt steeds het gemiddelde van een reeks waarnemers genomen. De grillige onregelmatigheden, die hierdoor in het gevonden verband tussen de diverse grootheden optreden, wil men natuurlijk niet tot in de aanbevelingen die men aan de lichtgebruikers verstrekt, laten doorwerken. Te dien einde zijn de in fig. 2 grafisch voorgestelde functies: prestatie in afhankelijkheid van het verlichtingsniveau, reeds door Weston geëffend.

Aangezien bij de practische toepassing der gegevens steeds wordt uitgegaan van een bepaalde taak, is het voor een juiste interpolatie gewenst, het gevonden verband ook te effenen voor wat betreft de invloed der parameters: detailgrootte en contrast. Dit komt er op neer, de spatiëring der verschillende krommen in fig. 2 van eventuele onregelmatigheden te bevrijden. We hebben dit gedaan door als functie van het contrast uit te zetten de verlichtingssterkte die nodig is voor een bepaalde relatieve prestatie. Aldus wordt een stel krommen met de relatieve prestatie als parameter verkregen, terwijl bovendien bij elke detailgrootte een ander stel van zulke krommen behoort; zie *fig. 3*.

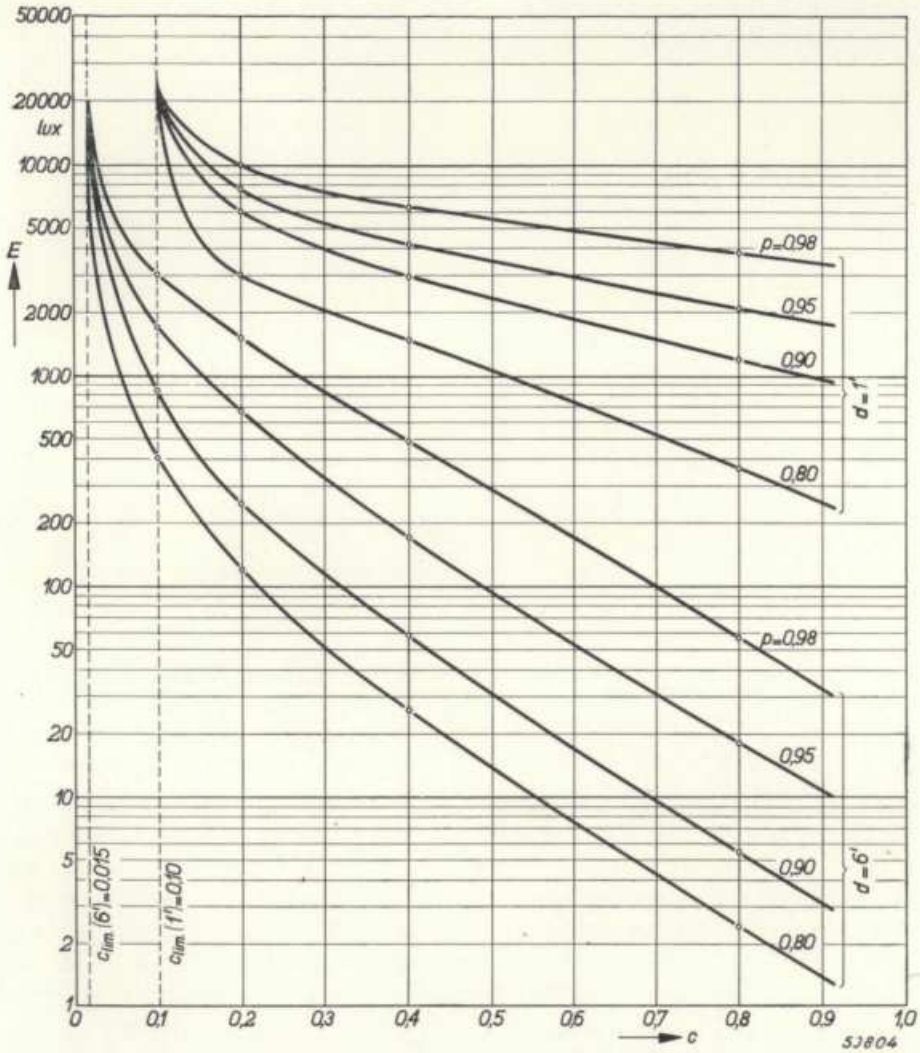


Fig. 3. Als functie van het contrast c is uitgezet de verlichtingssterkte E in lux die nodig is om bij gegeven detailgrootte d een gegeven relatieve prestatie p te waarborgen. De gegevens van Weston konden aldus geëffend en geïnterpoleerd worden voor wat betreft de invloed van het contrast. Bovendien konden de krommen onderworpen worden aan de voorwaarde dat elke bundel krommen, behorende bij één detailgrootte, tot die verticale lijn moet naderen welke aan het kleinst waarneembare contrast c_{lim} bij die detailgrootte beantwoordt.

Het was op deze wijze niet alleen mogelijk de functies langs grafische weg glad te maken (en op meer betrouwbare wijze te interpoleren voor diverse gewenste contrastwaarden), maar

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bovendien kon ook gezorgd worden dat hun verloop aansluit bij bekende gegevens over de drempel van het gezichtsvermogen. Een object van gegeven grootte zal, zelfs al voert men het verlichtingsniveau tot aan de grens van de verblinding op, niet waargenomen kunnen worden indien het contrast van het object tegen de achtergrond beneden een bepaalde minimale waarde ligt. Deze minimale waarde is in *fig. 4* als functie van de objectgrootte uitgezet [6]). Dit betekent nu dat in fig. 3

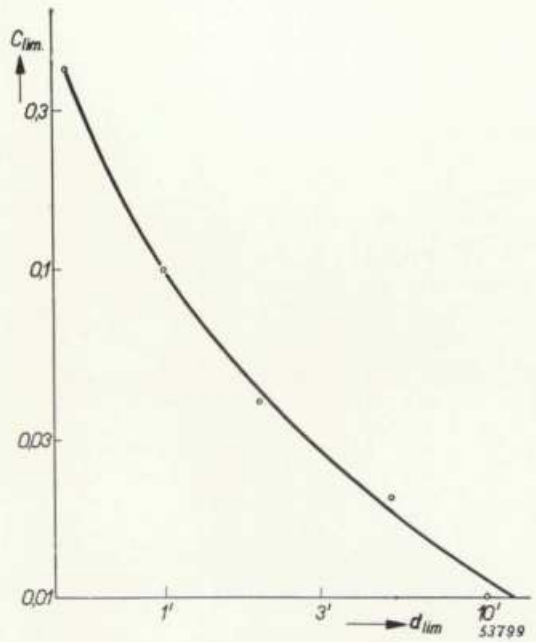


Fig. 4. Verband tussen het kleinste waarneembare contrast c_{lim} en de kleinste waarneembare detailgrootte d_{lim}. (Afgeleid uit gegevens van Siedentopf en van Kühl.)

elke bundel krommen die voor één detailgrootte geldt, bij de genoemde zeer grote verlichtingssterkte tot de verticale lijn moet naderen waarop het contrast de bijbehorende minimale waarde heeft. Immers, als men tot taken met een zo laag contrast overgaat, zal ook voor de kleinste „prestatie" al een zeer grote verlichtingssterkte nodig zijn.

Op soortgelijke wijze werden de gegevens geëffend wat betreft de invloed van de detailgrootte (waarbij dus het contrast als parameter voor de bundels krommen optrad) en ook hier kon het verloop der krommen nog gecorrigeerd worden door ze te onderwerpen aan de voorwaarde dat elke bundel, die voor één contrastwaarde geldt, bij de hierbij behorende drempel van de waarneembare detailgrootte moet naderen tot de desbetreffende verticale lijn.

Op deze wijze werden de verlichtingsniveaus gevonden die in *tabel III* zijn aangegeven.

[6]) H. Siedentopf, Das Licht **11**, 35, 1941; A. Kühl, Z. Instrumentenkunde **60**, 293, 1940.

Tabel III. Verlichtingssterkte in lux die nodig is voor het verkrijgen van gegeven waarden van de relatieve prestatie, bij taken met verschillend contrast c en detailgrootte d (reflectiecoëfficient van de achtergrond = 0,9). Ten opzichte van de oorspronkelijke, aan H. C. Weston ontleende proefresultaten zijn de opgegeven verlichtingsniveaus geëffend, o.a. met behulp van fig. 3.

Detailgrootte d	Relat. prestatie p	Contrast c 0,1	0,2	0,4	0,8
1′	0,98		9900	6300	3800
	0,95		7500	4300	2050
	0,90		5400	2900	1200
	0,80		3100	1500	360
1,5′	0,98	9900	6600	3900	1600
	0,95	8100	4500	2400	750
	0,90	5700	3300	1500	370
	0,80	3300	1650	610	97
3′	0,98	5800	3600	1600	260
	0,95	4100	2250	780	110
	0,90	2500	1300	320	34
	0,80	1300	550	130	12
6′	0,98	2900	1600	480	57
	0,95	1700	700	170	19,5
	0,90	880	260	59	5,4
	0,80	420	120	26	2,6

Moeilijkheidsstappen in taak en prestatie

Terwille van een goede mogelijkheid van interpolatie is het gewenst dat de opeenvolgende kolommen (en regels) van de tabel slaan op taken met ongeveer constant verschil in moeilijkheid.

Uit tabel III kan men afleiden dat wat deze wens betreft de gradaties in detailgrootte en contrast volgens tabel I en II inderdaad doelmatig zijn gekozen. Laten wij bijv. uitgaan van de verlichtingsniveaus opgegeven voor de taak: detailgrootte $d = 1{,}5'$ en contrast $c = 0{,}2$. De verlichtingssterkte, nodig om een voorgeschreven relatieve prestatie te krijgen, blijkt dan nagenoeg evenveel [7]) toe te nemen bij overgang tot de taak $d = 1{,}5'$, $c = 0{,}1$ (een stap naar links) als bij overgang tot $d = 1'$,

[7]) Bij deze beschouwingen dient men wel in het oog te houden dat het zinledig is om bij het beoordelen van verlichtingsniveaus een al te grote nauwkeurigheid te betrachten. De individuele verschillen in gezichtsvermogen, die reeds voor betrekkelijk goed meetbare grootheden als contrastgevoeligheid en gezichtsscherpte aanmerkelijk blijken te zijn, maken, dat men afwijkingen tot ca 30 % tussen verwachte en opgegeven verlichtingssterkte niet als ernstig behoeft te beschouwen. In de uiteindelijk voor de practijk te kiezen niveaus zal ongetwijfeld een nog grotere spreiding optreden door de subjectieve beoordeling der toeslagen die, zoals in het voorgaande werd vermeld, nodig zijn om allerlei verschillen tussen de omstandigheden bij de beoogde en bij de voor de tabel gebruikte soort taak te compenseren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

$c = 0{,}2$ (een stap naar boven). We kunnen dit zó uitdrukken dat de verkleining van het contrast van $c = 0{,}2$ tot $c = 0{,}1$ de taak met eenzelfde factor „moeilijker" maakt als de verkleining van de detailgrootte van $d = 1{,}5'$ tot $d = 1'$. Door vervolgens deze beschouwing opnieuw toe te passen uitgaande van de taak $d = 3'$, $c = 0{,}2$ resp. $d = 6'$, $c = 0{,}2$, constateert men dat ook de moeilijkheidsstappen van $d = 3'$ tot $d = 1{,}5'$, en van $d = 6'$ tot $d = 3'$, ten naaste bij even groot zijn als de stap van $c = 0{,}2$ tot 0,1. Met andere woorden, de drie moeilijkheidsstappen tussen de vier gradaties van detailgrootte d zijn onderling vrijwel even groot.

Dit wordt bevestigd door overeenkomstige vergelijking van de verlichtingsniveaus in de kolommen der contrasten $c = 0{,}4$ en $c = 0{,}2$ resp. $c = 0{,}8$ en $c = 0{,}4$. Bovendien constateert men hierbij dat ook de drie moeilijkheidsstappen tussen de vier gekozen gradaties in contrast onderling ongeveer even groot zijn, en tevens vrijwel even groot als de stappen in detailgrootte.

Men kan zich ten slotte nog afvragen of ook de vier trappen in de relatieve prestatie p doelmatig zijn gekozen. Men zal in dit opzicht wensen, dat het overgaan van een bepaalde voorgeschreven p tot de eerstvolgende hogere p telkens eenzelfde stap van „bemoeilijking" betekent [8]).

Om te toetsen of hieraan is voldaan, ligt het voor de hand de factor (g) te berekenen waarmee de verlichtingssterkte moet worden vergroot om de relatieve prestatie tot de eerstvolgende hogere trap op te voeren. Weliswaar is deze factor volstrekt geen rechtstreekse maat voor het „moeilijkheidsverschil" van de twee prestatietrappen. Men ziet dit dadelijk hieraan, dat men voor eenzelfde prestatiestap, bijv. van 0,80 tot 0,90, op verschillende plaatsen in de tabel geheel verschillende vergrotingsfactoren voor de verlichtingssterkte vindt. Hetzelfde geldt, wanneer men uit de tabel de factor (f) berekent waarmee de verlichtingssterkte moet worden verhoogd om, bij constant gehouden p, één moeilijkheidsstap in de taak (dwz. verlaging van contrast of verkleining van detail) te compenseren. Merkwaardig genoeg vindt men echter voor beide factoren, dat zij alleen afhangen van het verlichtingsniveau (oftewel de taak) waarvan men is uitgegaan. Dank zij dit feit kan men nu voor elk uitgangsniveau de factor g, die correspondeert met één prestatiestap, vergelijken met de factor f, die behoort bij één contraststap. Zodoende vonden wij, dat de gekozen prestatiestappen: 0,98/0,95; 0,95/0,90; 0,90/0,80 gemiddeld aequivalent zijn met respectievelijk 0,63; 0,59; 0,65 maal één contraststap. De vier gekozen prestatietrappen 0,98, 0,95, 0,90 en 0,80 zijn dus inderdaad met zeer behoorlijke benadering „aequidistant".

Zet men de uit de tabel berekende gemiddelde factor f als functie van het verlichtingsniveau uit, dan krijgt men natuurlijk punten met een vrij grote spreiding. Door hier een vloeiende lijn doorheen te tekenen komt men tot geëffende factoren f; zie *fig. 5*. Met behulp van deze geëffende factoren

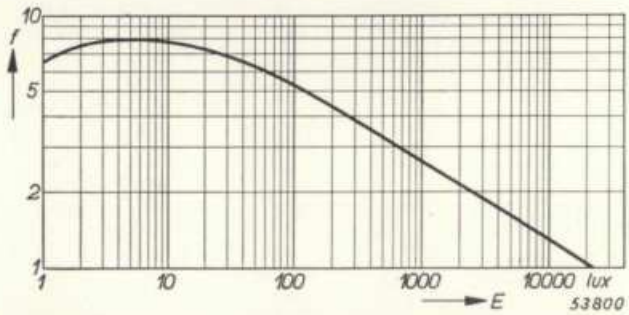


Fig. 5. Factor f waarmee volgens tabel III het verlichtingsniveau moet worden vergroot, als de taak één stap moeilijker wordt en men toch dezelfde relatieve prestatie wil verkrijgen. De factor blijkt bij goede benadering alleen af te hangen van het niveau waarvan men uitgaat. De kromme is als vloeiende lijn getrokken door de enigszins strooiende punten die aan de, uit de tabel berekende, gemiddelde waarden van f beantwoorden. De kromme snijdt bij ongeveer 20 000 lux de lijn $f = 1$, hetgeen strookt met het feit, dat men boven 20 000 lux geen verbetering in het zien meer krijgt. (We moeten daarbij afzien van taken die minder dan één moeilijkheidsstap van de waarnemingsdrempel af liggen.)

hebben we op de tabel III nog een laatste correctie toegepast. We hebben nl. de verlichtingsniveaus behorende bij de vier onderling even moeilijke taken in de diagonaal: $d = 6'$, $c = 0{,}1$ tot $d = 1'$, $c = 0{,}8$, gelijk gesteld aan de gemiddelde waarden die men voor deze vier taken uit tabel III vindt (daarbij de vier niveaus zo corrigerend dat hun verhoudingen kloppen met de boven afgeleide gemiddelde factoren g), en vervolgens hebben we de niveaus voor alle andere taken berekend door middel van de afgelezen factoren f. Tevens werd hierbij elke berekende waarde „afgerond" op een wijze die in de verlichtingstechniek veel wordt toegepast, nl. op de dichtstbij gelegen waarde van de reeks getallen (op factoren 10 na [9])) : 1 - 1,25 - 1,6 - 2,0 - 2,5 - 3,2 - 4,0 - 5,0 - 6,3 - 8,0 - 10. De aldus verkregen genormaliseerde tabel is hier als *tabel IV* weergegeven.

[8]) Hier komt weer duidelijk naar voren dat het slechts een kwestie van de keuze van afhankelijke en onafhankelijke variabelen is indien men moeilijkheid en uitvoerbaarheid van een taak wil scheiden: men kan zelfs de eis van een bepaalde relatieve prestatie mede tot de omschrijving van de taak rekenen en dan zeggen dat de taak „moeilijker" is naarmate we een hogere prestatie verlangen.

[9]) De getallen vormen bij benadering een meetkundige reeks met de verhouding $\sqrt[10]{10}$. Zij verdelen dus de factor 10 in tien gelijke intervallen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Zoals deze tabel is verkregen op basis van de definities en experimenten van Weston, zou men ook een verlichtingstabel kunnen afleiden uit de methoden van Luckiesh en Moss en van Waller, die in het begin van dit artikel werden genoemd [10]). Het is interessant na te gaan, of de verschillende tabellen met elkaar in overeenstemming te brengen zijn. Op deze plaats moeten we met het aanstippen van dit probleem volstaan.

Tabel IV. Verlichtingssterkte in lux, nodig voor vier waarden van de relatieve prestatie, bij taken met verschillend contrast c en detailgrootte d (reflectiecoëfficient van de achtergrond = 0,9). De opgegeven verlichtingsniveaus verschillen van die in tabel III doordat zij zijn berekend met geëffende factoren f volgens fig. 5 en vervolgens afgerond; zie de toelichting in de tekst.

Detail-grootte d	Contrast c / Relat. prestatie p	0,1	0,2	0,4	0,8
1′	0,98		10000	6300	4000
	0,95		8000	4000	2000
	0,90		5000	2500	1000
	0,80		4000	1600	500
1,5′	0,98	10000	6300	4000	1600
	0,95	8000	4000	2000	800
	0,90	5000	2500	1000	320
	0,80	4000	1600	500	100
3′	0,98	6300	4000	1600	500
	0,95	4000	2000	800	160
	0,90	2500	1000	320	50
	0,80	1600	500	100	12,5
6′	0,98	4000	1600	500	100
	0,95	2000	800	160	25
	0,90	1000	320	50	6,3
	0,80	500	100	12,5	1,6

De verlichtingstabel in de practijk

Men zal nu wellicht de vraag stellen, met welke waarderingen: „voldoende", „goed" enz., de hierboven gebruikte trappen van de relatieve prestatie: 0,80, 0,90, 0,95, 0,98 corresponderen. Hierop zouden we, door een bepaalde taak te beschouwen en hiervoor diverse gegevens (o.a. uit het aangehaalde artikel [3])) te vergelijken, het globale antwoord kunnen geven dat bijv. een relatieve prestatie van 0,90 à 0,95 als „goed" kan worden aangeduid. Dit is met name de door Weston voorgestelde norm. Het stellen en beantwoorden van de vraag is echter voor de practijk nauwelijks nodig. Immers, beschikt men over enige ervaring, dan kan men de waarde der relatieve prestatie rechtstreeks voor de classificatie van de kwaliteit van een verlichting gebruiken en men kan dus de omweg over de benamingen „goed" enz. — die in dit artikel duidelijkheidshalve vooropgesteld was — vermijden. Aanknopende aan hetgeen in de inleiding van dit artikel werd gezegd, zal men nu voor elke economische situatie een bepaalde relatieve prestatie als na te streven doel kunnen aanbevelen.

Omgekeerd is het leerzaam na te gaan, welke gemiddelde relatieve prestaties p verkregen worden als men de in verschillende landen thans in gebruik zijnde verlichtingstabellen tot leidraad neemt. Men vindt dan bijv. dat voor taken van gemiddelde moeilijkheid de (vooroorlogse) Duitse tabellen corresponderen met $p = 0{,}80$ tot 0,85, de laatst uitgegeven Amerikaanse tabellen met $p = 0{,}95$ tot 0,98. Voor zeer gemakkelijke taken leveren de aanbevolen verlichtingsniveaus volgens de tabellen van alle landen relatieve prestaties van practisch $p = 1$. Dit is heel goed te begrijpen. Zelfs zeer hoge relatieve prestaties worden bij zulke gemakkelijke taken reeds bij betrekkelijk geringe verlichtingssterkten bereikt. De prestatie kan dan niet meer het criterium zijn dat de gewenste verlichtingssterkte bepaalt, en men zal uit anderen hoofde, bijv. omdat de gehele werkruimte een prettig aanzien moet hebben, aanzienlijk hogere verlichtingsniveaus aanbevelen dan voor zulke taken uit tabel IV zou volgen.

Wil men de verlichtingstabel op industriële taken toepassen, dan doet men goed, in het oog te houden, dat met de verschillen in relatieve „prestaties" voor diverse verlichtingsniveaus in het algemeen geenszins even grote verschillen in productiecijfers zullen corresponderen. Immers, het hier gebezigde begrip „prestatie" is alleen een maat voor de uitvoerbaarheid van het visuele gedeelte van een taak. Heeft men met een practische taak te maken, die nog een min of meer ingewikkelde, op de visuele waarneming volgende actie omvat (vgl. het in noot [5]) gezegde), dan zal de invloed van de verlichting op het totale resultaat, de „productie", belangrijk kleiner kunnen zijn dan die op de „prestatie", aangezien de voor het actie-gedeelte van de taak benodigde tijd en de kans op fouten hierbij onafhankelijk zijn van het verlichtingsniveau.

[10]) *Noot bij het ter perse gaan:* Een nog recenter onderzoek op dit gebied, met weer enigszins andere definities, vindt men bij: E. Simonson en J. Brozek, Effects of illumination level on visual performance and fatigue, J. Opt. Soc. Amer. **83**, 384-397, 1948 (No. 4).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN FLITSLAMP VOOR HET BELICHTEN VAN DE NEVELSPOREN IN EEN WILSONKAMER

door N. WARMOLTZ en A. M. C. HELMER *). 539.16.08 : 771.447.4

Na een korte beschrijving van de Wilsonkamer, een belangrijk hulpmiddel bij het kernphysisch onderzoek en bij de bestudering van de cosmische straling, wordt onderzocht aan welke voorwaarden een flitslamp moet voldoen die daarbij gebruikt wordt voor de belichting van de nevelsporen. Vervolgens wordt een flitslamp beschreven die bij Philips voor dit doel ontwikkeld is. Dit is een met xenon gevulde, vrij lange buis, waardoor een tot een spanning van enkele kilovolts geladen condensator via een smoorspoel wordt ontladen. Daarbij ontstaat een flits die gedurende enige milliseconden licht verspreidt. Deze lamp is eenvoudig in bedrijf te stellen en heeft een hoog rendement. Uit de bijgevoegde foto's blijkt welke resultaten hiermede zijn bereikt. Ten slotte worden enkele eigenschappen van de besproken flitslamp nog nader beschouwd.

Inleiding

Een van de belangrijkste hulpmiddelen bij het kernphysische onderzoek en bij de bestudering der cosmische straling is ongetwijfeld de omstreeks het jaar 1910 door C. T. R. Wilson geconstrueerde nevelkamer. Hiermede is het mogelijk geworden om de banen die ioniserende deeltjes, zoals bijv. electronen, mesonen en atoomkernen, in een gas doorlopen, zichtbaar te maken en op een fotografische plaat vast te leggen.

Reeds vroeger was het aan onderzoekers die nevelvorming in lucht door middel van laboratoriumproeven bestudeerden, gebleken, dat de condensatie van waterdamp uit oververzadigde lucht hoofdzakelijk plaats heeft op de in die lucht aanwezige stofdeeltjes. Daarna vond Wilson, dat in geheel stofvrije lucht bij oververzadiging toch nog hier en daar waterdruppels gevormd worden en wel op aanwezige vrije ionen. Dit laatste werd o.a. aangetoond door radioactieve preparaten, die snelle ioniserende deeltjes in de vorm van α- of β-stralen uitzenden, te brengen in of bij de ruimte waarin de damp zich bevond, of deze te bestralen met röntgenstralen of γ-stralen.

Uitgaande van deze ervaringen ontwikkelde Wilson een apparaat, de zg. Wilsonkamer, voor het aantonen van vrije ionen in een gas door middel van condensatie van waterdamp, die, door expansie en de daarmede gepaard gaande afkoeling van het gas, in een oververzadigde toestand is gebracht.

Indien een der bovengenoemde snelle, geladen deeltjes een baan door een Wilsonkamer beschrijft, vormt het langs zijn baan een snoer van ionen, waarop bij hierop volgende expansie condensatie van waterdamp optreedt.

Door het hierbij ontstane spoor van waterdruppeltjes kort na zijn ontstaan, dus als de druppeltjes nog niet door de zwaartekracht en door diffusie van hun plaats gedreven zijn, korte tijd sterk te belichten, kan men de baan van het deeltje waarnemen of fotograferen. Uit de waargenomen banen verkrijgt men vele gegevens over de aard der betreffende deeltjes, zoals hieronder nog nader zal worden uiteengezet.

Men heeft met de Wilsonkamer inderdaad zeer belangrijke resultaten bereikt. Zo ontdekte Anderson door middel van fotografieën van nevelsporen in 1933 het positon, en namen I. Curie en Joliot, eveneens in 1933, de zg. materialisatie van een photon in de vorm van een electronenpaar waar.

We zullen ons in dit artikel voornamelijk bezig houden met de voor het fotografisch vastleggen der nevelbanen benodigde belichtingsapparatuur.

Hiertoe zullen wij eerst nog iets nader op de constructie van de Wilsonkamer zelf ingaan.

De inrichting van een Wilsonkamer

De Wilsonkamer is in haar moderne uitvoering een platte doosvormige ruimte, waarvan de voorwand van glas is, terwijl de achterwand gevormd wordt door een geperforeerde metalen plaat, waarop meestal nog een laag zwart fluweel is aangebracht ter vermijding van eventuele lichtreflecties (*fig. 1*). Achter de geperforeerde plaat bevindt zich een gespannen membraan van rubber, dat de zojuist genoemde expansieruimte scheidt van de er achter gelegen drukruimte. De zijwand van de expansieruimte bestaat uit een vlakgeslepen ring van glas of uit een metalen ring met een glazen venster voor zijdelingse belichting.

Het geheel wordt, met tussenschakeling van pakkingen, door twee klemplaten en bouten stevig aan elkaar gedrukt. De drukruimte staat enerzijds via een reduceerventiel in verbinding met een drukcylinder met lucht, waardoor de druk in deze ruimte

*) Natuurkundig Laboratorium der Gem. Universiteit, Amsterdam.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

op 2 atm ingesteld kan worden. Anderzijds bevat de drukruimte een uitlaatklep, die door een bekrachtigde electromagneet dicht wordt gehouden tegen een overdruk. Bij het uitschakelen van de stroom wordt door de overdruk in de drukruimte deze klep geopend.

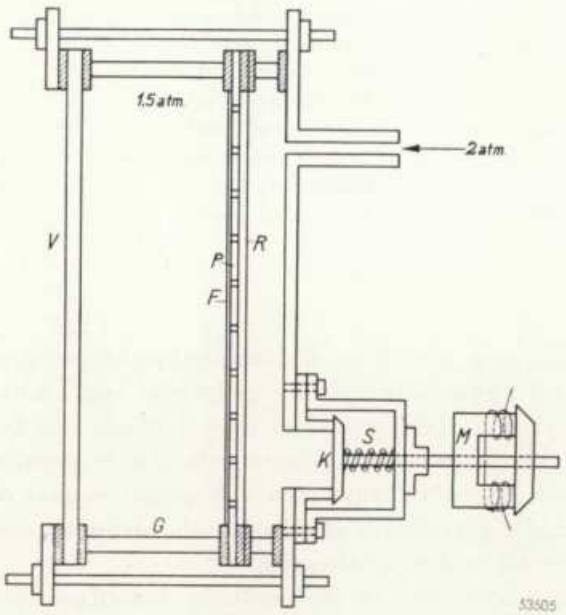


Fig. 1. Schematische tekening van een Wilsonkamer zoals die tegenwoordig veel wordt gebruikt. Ω is de glazen voorwand, *G* een glazen ring in de zijwand, *P* een geperforeerde metalen plaat, waarvoor een zwarte fluwelen doek *F* is aangebracht om lichtreflecties tegen te gaan, *R* is een membraan van rubber. De klep *K*, die bij normale druk juist wordt dichtgedrukt door de veer *S* en die tegen overdruk wordt dicht gehouden door de magneet *M*, gaat open bij het verbreken van de magneetstroom, hetgeen dan expansie van het gas in de kamer veroorzaakt.

Daar de klep zeer wijd is, daalt de druk in deze ruimte dan snel tot 1 atm. Ten gevolge hiervan beweegt het rubbermembraan zich naar de zijde van de drukruimte en vindt in de voorste ruimte op gelijkmatige wijze een expansie plaats.

In de expansieruimte bevindt zich een gas, bijv. een mengsel van argon en zuurstof van omstreeks 1,5 atmosfeer druk, dat verzadigd is met damp, bij voorkeur met een mengsel van alcohol- en waterdamp. Dank zij de geperforeerde plaat waarvan de openingen nog met het fluweel zijn bedekt, gebeurt de uitzetting in de expansieruimte niet te abrupt, zodat geen wervelingen optreden. Dit is noodzakelijk, daar wervels de nevelsporen in hoge mate zouden vervormen. Voor het fotograferen van de baansporen schakelt men, geheel langs electrische weg of door middel van contacten op de klepstang, korte tijd na de expansie een lamp in die een sterke lichtflits geeft.

Door de adiabatische uitzetting treedt een afkoeling en zo een oververzadiging van de damp op. Het is gebleken, dat voor een mengsel van alcohol- en waterdamp (behorende bij een vloeistof met 50% alcohol) bij een expansieverhouding lager dan 1,10 alleen nevelvorming optreedt, indien het expanderende gas verontreinigd is met stofdeeltjes, en dat bij een expansieverhouding tussen 1,10 en 1,11 ook in stofvrij gas plaatselijk druppelvorming plaats heeft op in het gas aanwezige ionen. Boven de expansieverhouding van 1,11 treedt altijd een, bij toenemende expansieverhouding in intensiteit toenemende wolkvorming op. Daarom brengt men in de nevelkamer een stofvrij gasmengsel en kiest men de expansieverhouding tussen 1,10 en 1,11.

Zoals gezegd vormt een ioniserend deeltje dat zich door de kamer beweegt, langs zijn baan een snoer van ionen. Vindt nu korte tijd na de doorgang van zulk een deeltje de expansie plaats in de genoemde verhouding, dan treedt uitsluitend op de langs de baan gevormde ionen condensatie op. Met een sterke zijdelingse belichting neemt men de gevormde waterdruppels, en daarmede de baan van het deeltje, door de glazen voorwand van de kamer waar. Uit de dichtheid van de ionisatie langs de baan, die blijkt uit het aantal druppels per cm baanlengte en uit de weglengte van het deeltje (indien de baan in de kamer eindigt) kan men in vele gevallen reeds de aard van het deeltje bepalen.

Dat druppelvorming op ionen optreedt bij geringere oververzadiging dan voor druppelvorming zonder ionen nodig is, laat zich ook zonder diepgaande theoretische beschouwingen verklaren uit de volgende overweging.

Een vloeistofdruppel kan bestaan in evenwicht met de omringende damp, wanneer de dampspanning in de omgeving gelijk is aan de bij dit oppervlak met kromtestraal *R* behorende dampdruk. De dampdruk boven een gekromd oppervlak neemt toe met afnemende kromtestraal, dus ook de voor condensatie vereiste oververzadiging.

De dampdruk boven een gekromd en tevens electrisch geladen oppervlak neemt echter beneden een zekere waarde van de straal af met afnemende straal. Bij gelijke *R* beneden deze waarde zal dan de dampdruk ten gevolge van de electrische lading lager worden en daardoor zal de condensatie op ionen belangrijk eerder optreden dan de algemene condensatie die ontstaat uit statische dampverdichtingen.

Door de kamer te plaatsen in een homogeen magnetisch veld van bekende sterkte, dat loodrecht op de voorwand van de kamer staat, kan men de impuls van het deeltje bepalen uit de kromming van de baan, door het veld veroorzaakt. De hierbij gebruikte sterkte van het veld is afhankelijk van de verwachte impuls der te meten deeltjes en varieert van bijv. 0,02 tot 2 Wb/m², overeenkomende met 200 tot 20 000 gauss.

De Wilsonkamer is een belangrijk instrument voor het onderzoek van de cosmische straling en van kernprocessen. Niet alleen kan men uit de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kromming der banen afleiden, welke deeltjes vrij komen bij botsingen der elementaire deeltjes met de atoomkernen der gasmoleculen of met de kernen der atomen van opzettelijk in de kamer aangebrachte absorberende materie, maar ook de hiermede gepaard gaande energie- en impulsoverdracht kan in vele gevallen berekend worden.

In *fig. 2* ziet men een zeer bekend voorbeeld van de botsing van elementaire deeltjes met atoomkernen. α-deeltjes, afkomstig van een radioactief preparaat, schieten door het gas (in dit geval stikstof) van de Wilsonkamer. Eén van de op deze foto waarneembare nevelsporen vertoont aan het einde een vork, die veroorzaakt wordt door de botsing van het α-deeltje met een stikstofkern. De lange tak van de vork ontstaat, zoals uit de ionisatiedichtheid en de dracht volgt, door een

Fig. 2. Opname met een Wilsonkamer van de botsing tussen een α-deeltje en een stikstofkern, waarbij een proton wegvliegt en een isotoop van zuurstof wordt gevormd (naar Blackett).

wegvliegend proton, de korte tak door een getroffen kern. Het α-deeltje zelf wordt blijkbaar, daar er geen derde baan zichtbaar is, in de kern opgenomen.

De hierbij optredende reactie [1]) is voor te stellen door de formule:

$$_7N^{14} + {}_2He^4 \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1.$$

Dit is de eerste kernreactie welke gevonden is. Experimenteel werd zij door Rutherford (1919) waargenomen bij een bombardement van stikstof met α-deeltjes. Deze uitkomsten werden later (1923) volledig bevestigd door opnamen van Blackett met een Wilsonkamer.

Indien men een Wilsonkamer gebruikt voor het onderzoek van de cosmische straling, brengt men, om de expansie op het juiste moment te laten plaats hebben, naast dit apparaat in de richting waaruit men de te registreren deeltjes verwacht, een Geigerteller aan en aan de tegenoverliggende zijde een tweede. Zulk een teller geeft bij doorgang van een ioniserend deeltje een kortdurende stroomstoot, die men naar willekeur kan versterken met behulp van enige radiobuizen. Nu schakelt men de beide tellers zodanig, dat een relais slechts aanspreekt, indien beide tellers een stroomstoot geven. Daartoe moet een deeltje door beide tellers en dus ook door de daartussen gelegen Wilsonkamer zijn gegaan. Het relais laat men dan de magneet bedienen die de klep opent, waardoor de drukruimte met de buitenlucht in verbinding wordt gesteld en de expansie in de kamer tot stand komt. Natuurlijk moet dit alles in zo korte tijd gebeuren, dat de door het deeltje gevormde ionen nog niet noemenswaard zijn verwijderd van de plaats waar zij ontstonden. Door combinaties van een of meer kamers met een groter aantal tellers in verschillende ruimtelijke opstellingen kan men uit de vele verschijnselen die bij de cosmische straling plaatsvinden. de processen afzonderen die men wil onderzoeken.

Dit is slechts een van de manieren waarop een Wilsonkamer vaak gebruikt wordt. Uiteraard kan men ook allerlei andere middelen toepassen om de expansie in te leiden. Soms gebruikt men een doorlopende expansie en compressie, liefst in een snel tempo, zonder enige besturing [2]).

De belichting van nevelsporen

De druppelsnoeren die de baan van een deeltje aangeven, kunnen alleen bij een sterke belichting worden waargenomen. Meestal stelt men de lichtbron ter zijde van de kamer op, laat het licht door een venster of door de geheel glazen zijwand in de kamer vallen en neemt dan de waterdruppels waar door de voorzijde, in het licht dat deze verstrooien [3]).

---

[1]) Vgl. W. de Groot, Kernphysica, Philips techn. T. **2**, 97-102, 1937.

[2]) Voor een uitvoerig overzicht van de werking van Wilsonkamers en de daarbij optredende processen en gebruikte meetmethoden verwijzen wij naar het artikel van N. N. Das Gupta en S. K. Ghosh in de Review of Modern Physics **18**, 225-290, 1946.

[3]) Voor een methode van belichting uit een andere hoek met de waarnemingsrichting zie men het onder [2]) geciteerde artikel van Das Gupta en Ghosh.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In de literatuur treft men talrijke wijzen van belichting aan. Blackett gebruikte in 1934 twee methoden. Bij de eerste werd een condensator ontladen via kwiklampen met een nauwe ontladingsbuis, bij de tweede werden deze lampen rechtstreeks verbonden met de secundaire wikkeling van een hoogspanningstransformator. Een stroomstoot van enige honderden ampères veroorzaakt daarbij een sterke lichtflits gedurende 0,1 à 0,01 seconde.

Ook worden overbelaste gloeilampen toegepast waarbij een 110-voltslamp voor een ogenblik op 220 volt geschakeld wordt. Een andere wijze van belichting is weer het gebruik van een continu brandende kwiklamp met zeer hoge druk (bijv. een SP 500 of SP 1000), waarbij de belichtingsduur door een mechanische sluiter geregeld wordt.

De voornaamste eisen, waaraan de belichting moet voldoen, zijn, kort samengevat:

1) Het geven van een gelijkmatige lichtintensiteit, van ter zijde in een platte, doosvormige ruimte. Hiervoor kan men een lijnvormige lichtbron gebruiken, die ongeveer de lengte van de diameter van de doos bezit, in combinatie met een cylinderlens. Een scherm tussen de lens en de kamer dient om te voorkomen, dat de voor- en achterwand door licht worden getroffen, ter vermijding van hinderlijke verstrooiing.
2) Het geven van een hoge lichtintensiteit gedurende een korte tijd. De duur van de belichting mag maar zeer kort zijn, omdat door de diffusie bij de gevormde waterdruppels een verbreding en door de werking van de zwaartekracht een vervorming van het nevelspoor optreedt, die bij langere tijden niet meer te verwaarlozen is.

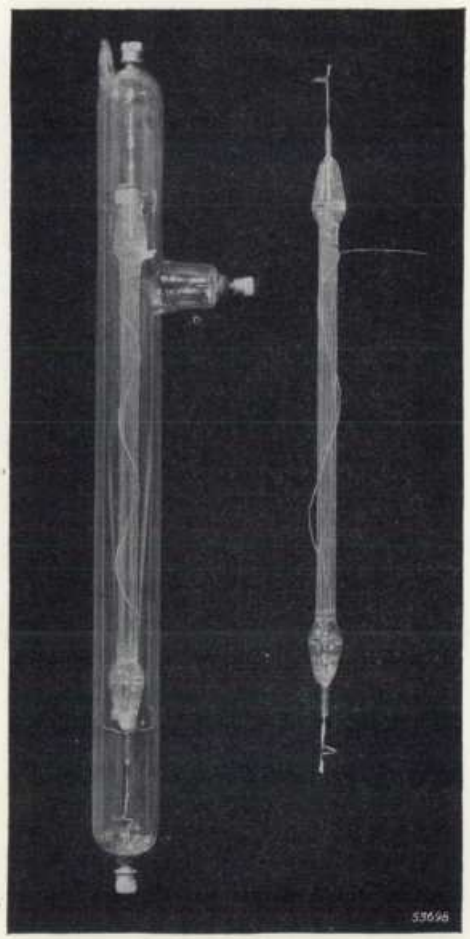
   Deze eis is vooral van belang bij de grote verticaal opgestelde Wilsonkamers, die voor het waarnemen van de cosmische straling gebruikt worden. Bij het bepalen van de kromming van de toch al zeer weinig gebogen baan van een snel deeltje in een magnetisch veld kunnen dan door het uitzakken van de in een verticaal vlak verlopende baan grote fouten optreden. Men verlangt daarom belichtingstijden die kleiner zijn dan 10 milliseconden.

   Voor horizontaal geplaatste kamers, die vaak bij kernphysische onderzoekingen gebruikt worden, geeft het vallen van de druppels niet direct een baanvervorming. Daarom kunnen daarbij ook langere tijden toegelaten worden.

   Gedurende de zeer korte belichtingstijden is een bijzonder grote lichtintensiteit vereist om nog een voldoende zwarting van de fotografische plaat te verkrijgen.
3) Het moment van belichting moet regelbaar zijn met een nauwkeurigheid van circa 1 milliseconde, zodat de druppels op het gunstigste ogenblik na de uitzetting kunnen worden gefotografeerd. Na de expansie kan men de druppels nog een korte tijd laten aangroeien alvorens ze te belichten, echter niet te lang met het oog op de reeds genoemde vervaging en vervorming der sporen.
4) De belichtingsapparatuur mag geen verwarming in de kamer veroorzaken, omdat daardoor gasstromingen ontstaan, die weer vervorming der banen ten gevolge hebben.

Een flitslamp voor belichting

Aan de bovengenoemde eisen voldoet een, door ons speciaal voor dit doel geconstrueerde, gasontladingslamp, die bij bedrijf met condensatorontladingen bijzonder korte lichtflitsen geeft.



a *b*

Fig. 3. Foto van een flitslamp. *a*) De volledige lamp, *b*) de eigenlijke flitsbuis.

Fig. 3 toont een reproductie van deze lamp. In fig. 3*a* ziet men de volledige constructie, waarbij de eigenlijke flitslamp, in fig. 3*b* afzonderlijk voorgesteld, is gemonteerd in een tweede buis om een gemakkelijk hanteerbaar en mechanisch stevig

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geheel te krijgen. De buitenste ballon maakt het ook mogelijk stevige schroefaansluitingen voor de stroomtoevoeren aan te brengen.

De flitslamp bestaat uit een buis van glas of kwarts met een inwendige diameter van ca 4 mm en is voorzien van verwijde uiteinden waarin de electroden zijn ingesmolten. Voor beide wordt een oxydkathode gebruikt [4]).

De lengte van de lamp, die in de normale uitvoering ongeveer 20 cm bedraagt, kan desgewenst aan de afmetingen van de Wilsonkamer worden aangepast. De lamp is gevuld met een edelgas van betrekkelijk hoge druk. Ter verkrijging van een grote lichtopbrengst neemt men hiervoor xenon of krypton; we komen hierop nog terug.

Aangezien het venster van een Wilsonkamer toch meestal bestaat uit glas dat geen ultraviolette straling doorlaat, is voor de buitenballon ook een dergelijk glas gekozen. Voor speciale doeleinden is het mogelijk de beide ballons van een ultraviolet doorlatend glas te maken.

De om de binnenbuis heen gewikkelde draad dient als ontsteekelectrode. De lamp wordt in werking gebracht door de ontlading, via een smoorspoel, van een tot een spanning van enkele kilovolts geladen condensator. *Fig. 4* toont het schema van de apparatuur. De smoorspoel dient om de ontladingsduur, die zonder deze spoel enige tientallen microseconden bedraagt (afhankelijk van de grootte van de condensator), te verlengen tot enige milliseconden, hetgeen een gunstige invloed heeft op de levensduur van de buis. Men kan hiervoor een spoel gebruiken met een zelfinductie van 10 mH, terwijl de gelijkstroomweerstand liefst beneden 1 Ω gehouden moet worden.

Hierbij is ons gebleken, dat de vermindering van de totale lichtopbrengst der flitsbuis, die veroorzaakt wordt door de gelijkstroomweerstand van de serie-smoorspoel, in bepaalde gevallen weinig of geen invloed heeft op de zwarting van de fotografische plaat. Dit feit is het gevolg van de met afnemende belichtingsduur afnemende gevoeligheid van de fotografische plaat. De zwarting der plaat wordt nl. bepaald door $I \cdot t^p$, waarin p afhankelijk is van I en t (I belichtingsintensiteit en t belichtingsduur), en in het door ons beschouwde gebied meestal groter is dan 1. Hierdoor kan bij dezelfde hoeveelheid gebruikte totale energie een verlenging van de flitsduur met een smoorspoel ondanks de afnemende totale lichtemissie zelfs wel eens een grotere zwarting van de fotografische plaat geven.

[4]) Doordat beide electroden als kathoden uitgevoerd zijn, kan de stroomrichting in de buis worden omgekeerd, indien de als kathode gebruikte electrode versleten is, om zo een langere levensduur van de lamp te bereiken.

De hier beschreven flitslamp wordt niet alleen gebruikt bij de Wilsonkamer. Ook op andere terreinen vindt zij toepassing voor het fotograferen van zeer kort durende verschijnselen. In dergelijke gevallen kan men de smoorspoel gewoonlijk weglaten zonder schade voor de buis, mits men daarbij de toegevoerde energie per impuls kleiner neemt.

De ontsteking wordt veroorzaakt door een spanningsstoot van ongeveer 10 kV, die opgewekt wordt door een impulsgenerator van gering vermogen. Men kan hiertoe een condensator van enige μF, geladen tot 300 volt, ontladen door de primaire keten van een transformator van gering vermogen. De secundaire zijde, die een hoge spanning levert, is dan rechtstreeks aan de ontsteekelectrode verbonden.

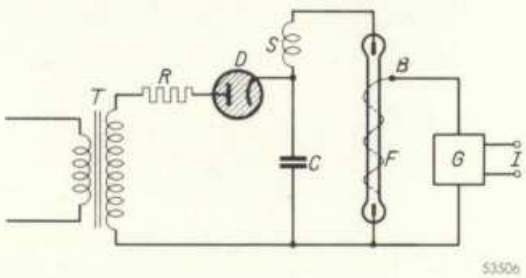


Fig. 4. Schema van de opstelling van een flitslamp. De condensator C, die een capaciteit van bijv. 10 tot 100 μF kan bezitten, wordt tot een spanning van enkele kilovolts geladen met behulp van de transformator T en de diode D, via een serieweerstand R. Door met de impulsgenerator G een spanningsstoot te geven op de uitwendige electrode B ontstaat in de flitsbuis F een ontlading, die ten gevolge heeft, dat de condensator C zich via de smoorspoel S door deze buis ontlaadt. De sterke lichtflits die hiermede gepaard gaat, heeft een duur van enige milliseconden. Om de generator G in bedrijf te stellen, wordt aan de klemmen I een impuls van geringe spanning afgegeven, die men op het gewenste moment òf geheel electrisch òf ten dele mechanisch bij de expansie van de Wilsonkamer laat ontstaan.

Een andere zeer bruikbare impulsgenerator is een radiobuis die een smoorspoel in de anodekring bevat. In de rusttoestand van het apparaat voert de buis anodestroom. Door nu het rooster van deze buis snel voor een ogenblik negatief te maken, kan men gemakkelijk de vereiste spanningsimpuls over de smoorspoel verkrijgen.

Resultaten

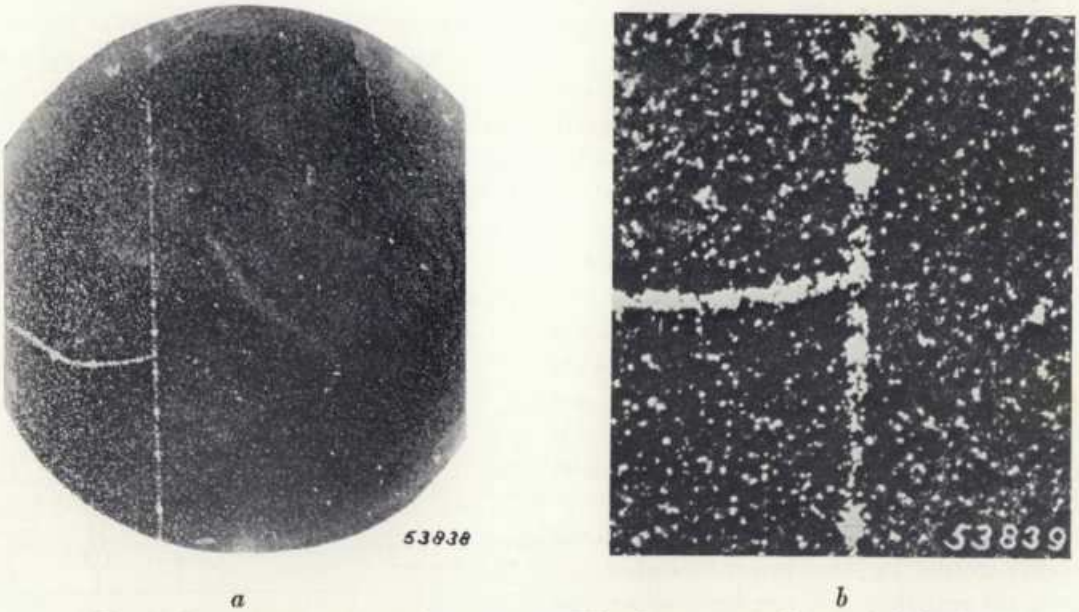
Met een Wilsonkamer van het in het begin van dit artikel genoemde type en de hierboven beschreven flitslamp zijn de in de *figuren 5* en *6* gereproduceerde opnamen gemaakt van baansporen, veroorzaakt door de cosmische straling. De kamer stond verticaal en de bundeling der lichtstralen geschiedde met een cylinderlens (een met water gevulde glazen buis).

Fig. 5*a* vertoont de baan van een snel electron of meson, dat in het gas van de kamer door botsing

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

met een kern een langzaam electron vrijmaakt. Dit beschrijft door zijn veel geringere snelheid een willekeurig gebogen baan. In fig. 5*b* is een gedeelte van deze opname vergroot weergegeven. Bij fig. 6 heeft blijkbaar een deeltje der cosmische straling (misschien een photon) in het bovenste deel van de kamerwand een electron en een meson vrijgemaakt, waarvan het meson op zijn beurt weer een secundair deeltje, misschien een electron, doch vermoedelijk een meson, produceert.



a *b*

Fig. 5. Een opname van nevelsporen in een Wilsonkamer, gemaakt met behulp van de in dit artikel beschreven flitslamp. *a*) Een snel electron of meson heeft door botsing met een kern een langzaam electron vrijgemaakt, dat een gebogen baan beschrijft. *b*) Een gedeelte van dezelfde opname vergroot voorgesteld. We vestigen er de aandacht op, dat de foto's van deze en de volgende figuur niet zijn geretoucheerd, zoals bij dergelijke reproducties weleens gebeurt. Daardoor ziet men op de achtergrond nog een aantal druppeltjes, die op overgebleven stofdeeltjes zijn gecondenseerd. Het is van belang, dat de definitie van de nevelsporen zo goed is, dat men met een eenvoudige loupe de druppeltjes waaruit ze bestaan, kan bestuderen en tellen.

Fig. 6. Nog een tweede opname van nevelsporen in een Wilsonkamer met behulp van de Philips-flitslamp. Op deze afbeelding ziet men, hoe een deeltje der cosmische straling (misschien een photon) in het bovenste deel van de kamerwand een electron en een meson heeft vrijgemaakt, waarvan het meson op zijn beurt weer een secundair deeltje, misschien een electron doch vermoedelijk een meson, produceert.

Zoals uit deze opnamen blijkt, zijn de baansporen van deze snelle deeltjes met de gebruikte apparatuur zeer goed op de fotografische plaat vast te leggen.

De belichting vond 0,25 sec na de expansie plaats en duurde ongeveer 2 milliseconden. De stootcondensator werd hierbij ontladen door een smoorspoel van 0,7 millihenry met een weerstand van 0.02 ohm. De camera was een Contax-apparaat dat gediafragmeerd werd op f/5,6. De opname geschiedde op Ilford HP3-films.

De lamp werd per flits belast met 320 wattseconde door ontlading van een condensator van 40 μF die tevoren tot 4 kilovolt geladen was. De hierbij uitgestraalde lichthoeveelheid bedroeg circa 15 000 lumenseconde [5]), hetgeen overeenkomt met een rendement van de lamp van circa 30 lumen/watt.

De buis, die een lengte had van 20 cm, blijkt bij een belasting per flits van 500 wattseconden een levensduur te bezitten die 100 000 flitsen te

[5]) Dit licht werd alzijdig uitgestraald en slechts ten dele nuttig gebruikt. Het is ook mogelijk de achterkant van de buitenste buis reflecterend te maken, zodat men het in achterwaartse richting uitgestraalde licht nog nuttig kan gebruiken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

boven gaat bij 8 flitsen per minuut, en die zelfs bij een toegevoerd vermogen van 1000 wattseconden nog behoorlijk is. Indien men een grotere intensiteit wenst om nog zwakkere sporen te kunnen fotograferen of om sterker te diafragmeren, kan men dus de buizen nog zwaarder belasten. Voor de hand ligt ook het gebruik van twee lampen, ter weerszijden van de kamer opgesteld, terwijl bij een kamer met een glazen ring als zijwand het gebruik van een rondom de kamer heen gebogen flitslamp voordelen biedt.

Aangezien de flitslamp geen voorverwarming nodig heeft (zoals bij sommige andere belichtingsmethoden gebruikt wordt) en een enkele flits slechts een geringe warmte ontwikkelt, bestaat er geen gevaar voor gasstromingen (eis 4).

De hier beschreven flitslamp blijkt inderdaad aan de in de punten 1 tot 4 genoemde eisen te voldoen.

Bovendien blijkt ze nog enige andere prettige eigenschappen te bezitten:

a) Omdat de lamp niet continu behoeft te branden zijn geen licht- of fotosluiters nodig.
b) De eenvoudige ontsteekwijze maakt relais overbodig en veroorlooft lichte, vonkenvrije constructies, hetgeen vooral voordelen biedt bij het onderzoek van de cosmische straling in vliegtuigen.
c) Lage bedrijfskosten, doordat alleen energie gebruikt wordt gedurende de flits. Geen voorverwarming zoals bijv. bij kwiklampen.

Enige bijzonderheden van de flitslamp

Ten slotte zullen we nog nader ingaan op enige eigenschappen van de boven beschreven flitslamp [6]).

We hebben reeds medegedeeld, dat als vulling voor de lamp een der edelgassen, meestal Xe of Kr, wordt toegepast. Men kan ook een mengsel van twee of meer van deze gassen gebruiken. Welk gas is als vulling het meest geschikt? *Fig.* 7 geeft een beeld hiervan. Op de horizontale as is uitgezet de spanning in kilovolt waarop, bij de hierop betrekking hebbende proefnemingen, de condensator van 100 μF werd geladen die zich over de flitslamp kan ontladen; op de verticale as de bijbehorende totale lichtopbrengst gedurende één flits (in een willekeurige maat).

Deze uitkomsten berusten op metingen welke verricht werden met een kaliumfotocel van het vacuumtype, die door middel van filters bij benadering aan de ooggevoeligheidskromme was aangepast, in combinatie met een ballistische galvanometer.

Door de afstand van de lichtbron tot de fotocel te variëren werd gecontroleerd, of er in de cel bij de grote lichtintensiteiten die gemeten moesten worden, geen verzadiging van de electronenstroom optrad. Bij voldoend hoge anodespanning (ca 400 V) bleek dit niet het geval te zijn, zodat de uitslag van de galvanometer recht evenredig was met de totaal gedurende een flits uitgezonden hoeveelheid licht.

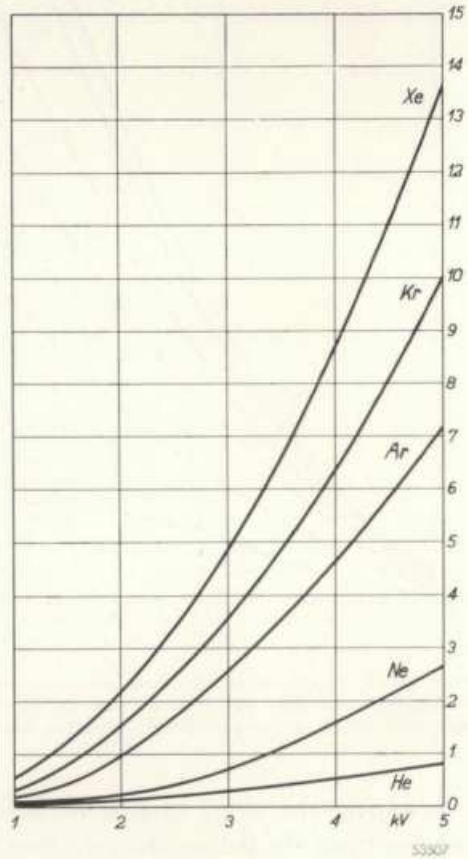


Fig. 7. De totale zichtbare lichtemissie (in een willekeurige maat) gedurende een flits als functie van de spanning op een condensator van 100 μF, voor helium, neon, argon, krypton en xenon (bij dezelfde druk), gemeten met een aan de ooggevoeligheid aangepaste fotocel en een ballistische galvanometer.

Uit fig. 7 blijkt, dat bij de zware edelgassen de lichtopbrengst veel groter is dan bij de lichte. Het verdient daarom aanbeveling de flitslamp met xenon te vullen. Bij de hieronder nog te vermelden metingen is dan ook gebruik gemaakt van flitslampen die met xenon gevuld waren.

Een groot gedeelte van het licht van de xenonlamp wordt uitgezonden in een continu spectrum, dat in sterke mate overeenstemt met dat van de straling van een zwart lichaam op een temperatuur van ca 6000 °K. Het licht van deze lamp is dan ook vrijwel wit van kleur. Het spectrum strekt zich uit tot in het ultraviolet, terwijl in het infrarode

[6]) Voor de beschrijving van een enigszins ander type flitslamp, die voor een ander doel is ontwikkeld, wordt verwezen naar het artikel van S. L. de Bruin, Een toestel voor stroboscopische waarneming, Philips techn. T. **8**, 25-32, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

deel nog een groep sterke xenonlijnen voorkomt. De xenonlijnen zijn gesuperponeerd op het continue spectrum. De zelfabsorptie in de buis bleek in het zichtbare gebied zeer gering of geheel afwezig te zijn.

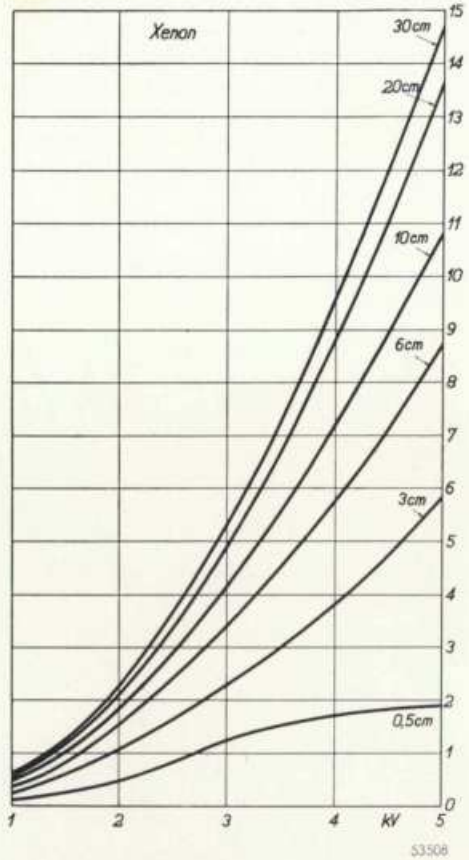


Fig. 8. De totale zichtbare lichtemissie (in een willekeurige maat) gedurende een flits als functie van de condensatorspanning, voor xenon, bij verschillende grootten van de gasdruk.

Ook is onderzocht welke invloed de gasdruk in de buis heeft op de lichtopbrengst. Deze stijgt, zoals *fig. 8* aantoont, belangrijk als de druk toeneemt.

Verder is in *fig. 9* de lichtopbrengst als functie van de toegevoerde energie voor een capaciteit van 100 μF weergegeven. Uit de figuur zien we, dat het rendement bij 400 Wsec zonder smoorspoel 42,5 lumen/watt bedraagt, en indien een zelfinductie van 7 mH en een weerstand van 1,1 Ω met de lamp in serie geschakeld is, 29,5 lumen/watt. De metingen zijn verricht met een normale condensator, die niet speciaal voor dit doel met een geringe eigen zelfinductie en een kleine weerstand geconstrueerd was.

Om een beeld te krijgen van de wijze waarop de lichtuitstraling gedurende de flits met de tijd verloopt, zijn met een kathodestraal-oscillograaf een aantal metingen verricht over het verloop van de stroomsterkte, de spanning en de lichtemissie als functie van de tijd [7]). In *fig. 10a, b* en *c* zijn de oscillogrammen gereproduceerd die verkregen werden bij uitgeschakelde smoorspoel. Fig. 10*a* toont het verloop der stroomsterkte bij een spanning van 2 kV en een condensatorcapaciteit van 20 μF. Met het oog op een bepaling van de tijdsduur van de ontlading werd een sinusvormige spanning van bekende frequentie op dezelfde plaat opgenomen. Het blijkt, dat de stroomsterkte na $4 \cdot 10^{-5}$ sec tot de helft van haar topwaarde gedaald is. Fig. 10*b* toont het verloop van de bijbehorende spanning. Het oscillogram van fig. 10*c* geeft aan, hoe de lichtemissie varieert. Bij het opnemen van dit oscillogram werd de spanning afgenomen van een weerstand van 470 Ω, die in serie geplaatst was met de boven reeds genoemde fotocel. Deze spanning werd na versterking toegevoerd aan de oscillograaf. Daarbij vindt men, dat de intensiteit van de lichtemissie ook na $4 \cdot 10^{-5}$ sec op de helft van haar maximum gekomen is.

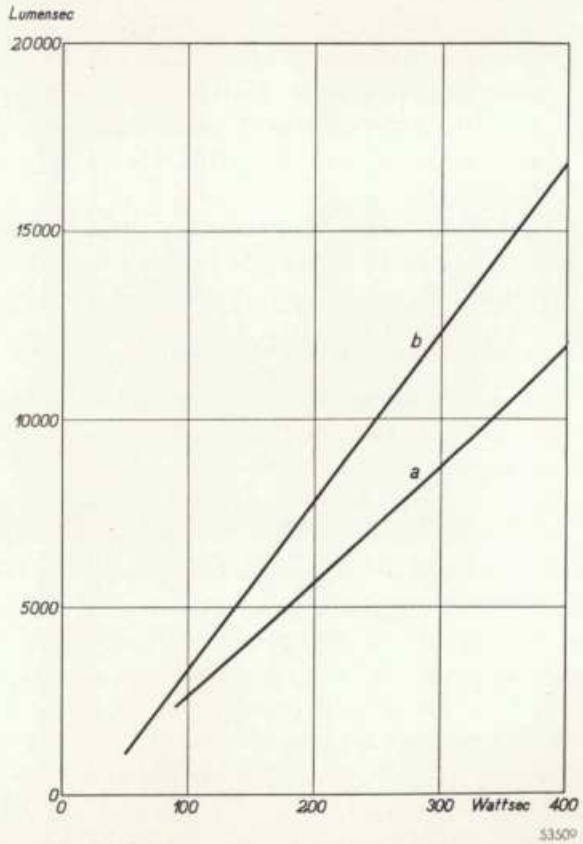


Fig. 9. De totale zichtbare lichtemissie (in lumensec) gedurende een flits als functie van de toegevoerde energie bij xenon voor een capaciteit van 100 μF; *a*) met een tussengeschakelde smoorspoel, *b*) zonder deze spoel.

[7]) Hierbij werd gebruik gemaakt van een schakeling die beschreven is in het artikel: N. Warmoltz, Het ontstekingsmechanisme van relaisbuizen met capacitieve ontsteker. Philips techn. T. **9**, 105-113, 1947 (No. 4). Zie aldaar fig. 6. Hierbij wordt, zoals gebruikelijk, de electronenstraal in de rustperiode onderdrukt. De foto's zijn opgenomen van het scherm van een kathodestraalbuis met een naversnelling van 5 kV met eenmalige belichting.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

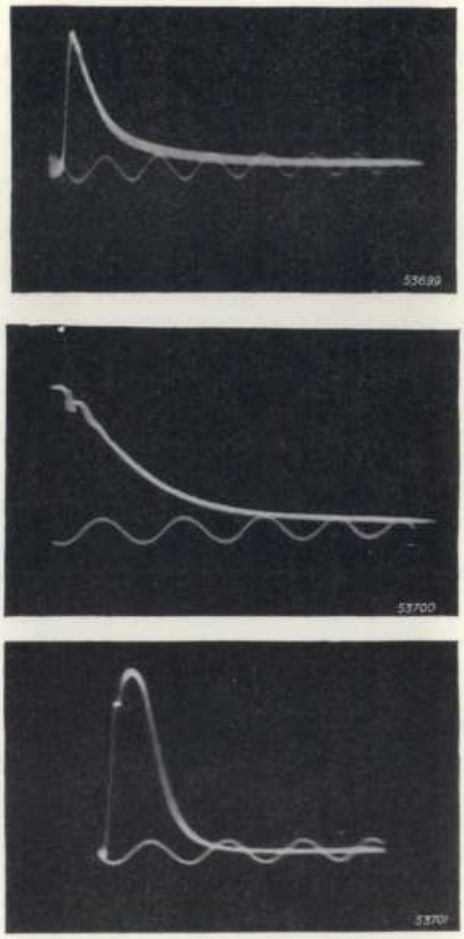


Fig. 10. Oscillogrammen die aangeven hoe de stroomsterkte, de spanning en de lichtemissie gedurende een flits (zonder smoorspoel) als functie van de tijd verlopen. *a*) Een meting van het verloop der stroomsterkte bij een spanning van 2 kV en een condensatorcapaciteit van 20 μF. De bijgevoegde ijkfrequentie is 15 000 per/sec. Na $4 \cdot 10^{-5}$ sec is de stroomsterkte tot de helft der topwaarde gedaald. *b*) De bijbehorende variatie der spanning. IJkfrequentie = 5000 per/sec. *c*) Het verloop van de lichtemissie (bij dezelfde spanning en capaciteit). IJkfrequentie 15 000 per/sec. Daar de emissie ook na $4 \cdot 10^{-5}$ sec tot de helft van haar maximum gedaald is, duurt de flits blijkbaar vrijwel even lang als de stroomstoot.

Wij willen ook enkele resultaten van metingen tonen waarbij een smoorspoel met de flitslamp in serie was geschakeld. Hiervan zijn een tweetal oscillogrammen in *fig. 11* gereproduceerd. Dat van fig. 11*a* heeft betrekking op het verloop van de stroomsterkte. De duur van de eerste positieve stroomdoorgang bedraagt $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ sec, waarna nog een stroomdoorgang in tegengestelde richting volgt [8]). In fig. 11*b* is de variatie van de lichtemissie voorgesteld. De duur van de eerste golf is eveneens $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ sec. De tweede golf wordt veroorzaakt door de stroomdoorgang in tegengestelde richting.

Bij het gebruik van een smoorspoel, hetzij om de duur van de lichtemissie te verlengen hetzij om de levensduur van de lamp te vergroten, verdient het aanbeveling de weerstand van deze spoel zo klein mogelijk te houden. De tussenschakeling van de smoorspoel heeft nl. een nadelige invloed op het rendement. Dit blijkt uit fig. 9, waar het rendement van de lamp, zowel met als zonder smoorspoel, is weergegeven.

Om een denkbeeld te krijgen van de gelijkstroomweerstand die de smoorspoel mag hebben zonder een al te nadelige invloed uit te oefenen, is het gewenst een onderzoek in te stellen naar de „weerstand" van de lamp.

Fig. 12 geeft het verloop van de spanning over de lamp als functie van de stroom gedurende een flits. De helling van de waargenomen kromme ten opzichte van de horizontale as is dan een maat voor de weerstand in de lamp.

Het oscillogram begint in een punt van de verticale as (in de figuur flauw zichtbaar als een kleine vlek). De eerste ogenblikken groeit de stroom zeer snel aan, terwijl de spanning nog slechts weinig afneemt; daarna dalen de stroomsterkte en de spanning beide. Door de grote snelheid waarmede het proces verloopt, is de eerste tak van de kromme (behalve het reeds genoemde beginpunt) niet op de foto zichtbaar geworden. Uit het tweede deel van de kromme, dat wel op de plaat zichtbaar is, blijkt,

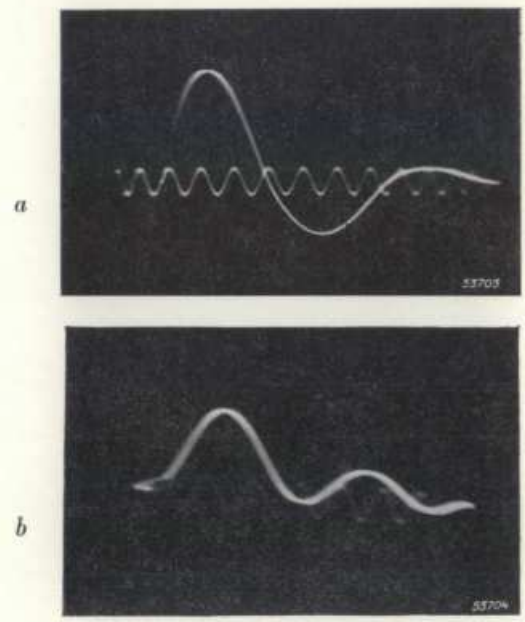


Fig. 11. Het verloop van de stroomsterkte en de lichtemissie, indien een smoorspoel met de flitslamp in serie is geschakeld. Bij deze meting werd een smoorspoel gebruikt met een zelfinductie van 7 millihenry en een weerstand van 1,1 ohm. *a*) De stroomsterkte als functie van de tijd. De spanning was weer 2 kV, de condensatorwaarde 20 μF. IJkfrequentie 2500 per/sec. De duur van de eerste positieve stroomdoorgang bedraagt $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ sec. *b*) Het verloop van de lichtemissie. Spanning 4 kV, capaciteit weer 20 μF. IJkfrequentie 2500 per/sec. De duur van de eerste golf is eveneens $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ sec.

[8]) Het geeft ook daarom voordeel, indien een smoorspoel in de schakeling is opgenomen, een flitslamp te gebruiken, waarin aan beide zijden een oxydkathode gemonteerd is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

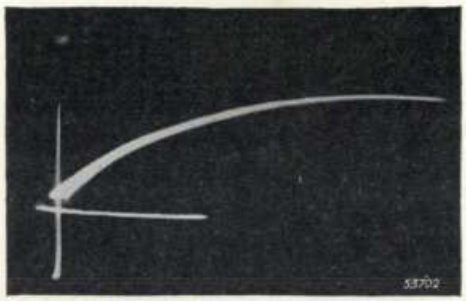


Fig. 12. Onderzoek van het verloop van de effectieve weerstand van de lamp met de tijd. De uitwijking langs de horizontale as is evenredig met de stroomsterkte en die langs de verticale met de spanning op de lamp, zodat de helling van de waargenomen kromme ten opzichte van de horizontale as een maat is voor de weerstand van de lamp. Bij deze meting werd een spanning van 4 kV gebruikt en een condensator met een capaciteit van 100 μF. Indien men een numerieke uitkomst verlangt, moeten de horizontaal en verticaal verschillend ingestelde gevoeligheden nog in rekening worden gebracht.

dat op den duur de weerstand met de tijd toeneemt.

De weerstand is gering, 2 tot 3 Ω, op het tijdstip dat de stroom zijn topwaarde bereikt en met dalende stroomsterkte neemt hij toe tot ca 6 Ω. De weerstand van de smoorspoel moet klein zijn ten opzichte van de gemiddelde lampweerstand.

De hier beschreven metingen werden verricht aan met xenon gevulde lampen van 20 cm lengte. Uit experimenten met lampen die met andere gassen gevuld waren en een andere lengte hadden, bleek, dat de gasvulling en de lengte invloed uitoefenen op de zoojuist beschouwde grootheden. Door een geschikte dimensionnering van de lampen kan men dan ook desgewenst kortere flitstijden bereiken dan die welke het hier beschreven lamptype oplevert.

Indien men een flitslamp moet gebruiken bij spanningen die hoger zijn dan de spanning die de lamp kan verdragen zonder uit zichzelf (zonder ontstekingsimpuls) door te slaan, kan men een relaisbuis voorschakelen, die een hogere spanning kan verdragen en die voorzien is van een kwikkathode die de hoge topstromen kan emitteren [9]). Het energieverlies dat door deze buis wordt veroorzaakt, bedraagt slechts enkele procenten.

[9]) Dit type relaisbuis met capacitieve ontsteker is beschreven in het onder [7]) geciteerde artikel, en, in combinatie met een flitslamp, in het onder [6]) geciteerde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!